

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Vývoj pórovitého kameniva na bázi nápeku z biomasy

The development of porous aggregate from biomass slag

Student:

Jozef Knapec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Filip Khestl, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jozef Knapec**

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Vývoj pórovitého kameniva na bázi nápeku z biomasy  
The development of porous aggregate from biomass slag

Zásady pro vypracování:

Práce navazuje na výsledky již zpracované diplomové práce na téma „Využití skelného nápeku ze spalování biomasy“, viz [1]. Tématem diplomové práce je vývoj pórovitého kameniva na bázi skelného nápeku.

Základní body praktické části:

1. Úvod.
2. Rešerše z oblasti lehkého kameniva se zaměřením zejména na umělé kamenivo na bázi druhotných surovin.
3. Charakteristika vstupních surovin.
4. Volba vhodné metodiky vývoje lehkého kameniva – příprava nápeku, případně dalších vstupních surovin, volba vhodného postupu výroby.
5. Výroba lehkého kameniva na základě stanovených receptur a metodiky výroby.
6. Ověření vlastností kameniva.
7. Vyhodnocení experimentální části.
8. Závěry a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Šulková, V.: *Využití skelného nápeku ze spalování biomasy*, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2014. Diplomová práce, 138 stran.
- Colangelo, F., Cioffi, R.: Use of Cement Kiln Dust, Blast Furnace Slag and Marble Sludge in the Manufacture of Sustainable Artificial Aggregates by Means of Cold Bonding Pelletization., *Materials*, 2013, 6, ISSN 1996-1944, doi:10.3390/ma6083139.
- Pytlík, P.: *Technologie betonu*, 2. vyd. BRNO: VUTUM, 2000. 390 stran. ISBN 80-214-1647-5.
- Voláková, P.: *Problematika spalování biomasy – tvorba strusky a skelných nápeků z biomasového na alkálie bohatého popela*, Ph.D.Thesis, VŠCHT Praha 2008.
- Hanus, V.: *Tavení popele z biomasy*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. Diplomová práce, 49 stran.
- Touma, W.E., Fowler, D.W., Carrasquillo, R.L.: *Research Report ICAR 301-1F*, International Center for Aggregates Research, 2001.
- ČSN EN 12620+A1 (2008): *Kamenivo do betonu*.
- ČSN EN 13055-1 (2004): *Pórovité kamenivo - Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty*.
- ČSN EN 1097: *sada norem pro zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva*.
- ČSN EN 1744-1 až 3: *sada norem pro zkoušení chemických vlastností kameniva*.

ASTM C-1260-07: *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*.

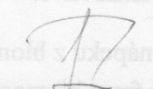
ČSN EN 206 (2014): *Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Filip Khestl, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



Ing. Ljbor Židek  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prehlásenie študenta**

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave .....

.....

podpis študenta



Prehlasujem, že:

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitia diela školského a § 60 – školské dielo
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo ku svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu použiť (§ 35 odst.3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť toto dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnutie licencií k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do jej skutočnej výšky)
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnenia ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave .....

## ANOTÁCIA

Práca sa zaoberá možnosťou využitia odpadu vznikajúceho po spaľovaní biomasy na výrobu pórovitého kameniva. Keďže sa jedná o odpadnú surovinu, vlastnosti tohto odpadu sú veľmi variabilné, závisia predovšetkým na tom, aký je použitý druh biomasy. Pórovité kamenivo sa zradzuje medzi ľahké kameniva, čím norma ohraničuje jeho objemovú hmotnosť do 2 000 kg/m<sup>3</sup>. Vyznačuje sa širokou škálou využitia od stavebníctva, cez izolácie až po použitie v záhradách. Keďže kamenivo ako plnivo sa výrazne podieľa na vlastnej tiaži samotnej konštrukcie, obecné je v tomto prípade cieľom vyrobiť kamenivo s čo najmenšou objemovou hmotnosťou a zároveň s čo najvyššou pevnosťou v tlaku.

V tejto práci sa vstupná surovina na výrobu pórovitého kameniva vyznačuje sklovitou štruktúrou. Výroba samotného kameniva prebiehala v dvoch etapách. V prvej etape prebiehalo nabalovanie vstupnej suroviny na granulačnom tanieri, kde bolo využitých poznatkov z výroby agloporitu. Druhá etapa odlišuje dva spôsoby výpalu jednotlivých produktov.

**Kľúčové slová:** popolček, odpad, nápek, biomasa, výpal, pórovité kamenivo

## ANOTATION

The work concerns the possibility to make use of waste material which arises from the combustion of biomass with the purpose to produce porous crushed stone. As it refers to secondary raw material, the characteristics of the waste are very variable. They mainly depend on what kind of biomass is used. Porous aggregate belongs to lightweight aggregates and the norm limits its volumetric weight to 2000 kg/m<sup>3</sup>. It is characterized by large-scale use and can be applied in building industry, insulation or in our gardens. Crushed stone aggregate as filling mass extensively takes part in self-weight of the construction itself. Generally, in this case there is an objective to produce aggregate with the lowest volumetric weight and the highest compression strength at the same time. In this diploma work the raw material input, which is determined to gain porous crushed stone, has a glassy structure. The production of aggregate itself is realized in 2 stages. Firstly, the raw material input is amassed in the pelletizer, where the knowledge how to produce agglomerite was applied. The second stage distinguishes two types of firing of particular products.

**Keywords:** fly ash, waste material, biomass, glossy slag, firing, porous aggregate

## **Obsah diplomovej práce**

<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Využívanie druhotných surovín v stavebníctve .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Priemyselné odpady v stavebníctve .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Popolček a jeho použitie do betónu.....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Vplyv popolčeka na vlastnosti betónu .....	14
2.2.2 Pozitívne skúsenosti s použitím vhodného popolčeka do betónu .....	14
2.2.3 Negatívne skúsenosti s použitím popolčeka do betónu .....	15
<b>2.3 Drvený betón – recyklát.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Kremičité úlety, silika .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Granulovaná vysokopecná troska.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Energosadrovec.....</b>	<b>19</b>
<b>3. Biomasa.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Zdroje biomasy .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Biomasa Veľký Karlov .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Biomasa Rajec.....</b>	<b>23</b>
<b>4. Pórovité kamenivo .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Prírodné pórovité kamenivá .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Pórovité kamenivá z priemyselných odpadov.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Pórovité kamenivá z prírodných zdrojov .....</b>	<b>27</b>
4.3.1 Keramzit .....	28
4.3.2 Sklený granulát .....	29
<b>4.4 Ľahký betón .....</b>	<b>30</b>
4.4.1 Rozdelenie ľahkých betónov .....	30
4.4.2 Ľahký vysokopevnostný betón .....	31
4.4.2.1 História ľahkých vysokopevnostných betónov.....	32
<b>5. Popolčekový agloporit a iné spečené priemyselné odpady.....</b>	<b>33</b>

<b>5.1 Rozdelenie surovín pre výrobu agloporitu .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2 Podiel spáliteľných látok.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Proces sbalkovania .....</b>	<b>34</b>
5.3.1 Granulačné bubny .....	35
5.3.2 Granulačný tanier.....	35
<b>5.4 Sušenie a výpal agloporitu .....</b>	<b>37</b>
5.4.1 Šachtové pece .....	38
5.4.2 Aglomeračné rošty .....	39
<b>6. Cieľ práce .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Metodika.....</b>	<b>44</b>
<b>8. Popis jednotlivých procesov pri laboratórnej výrobe na FAST .....</b>	<b>45</b>
<b>8.1 Príprava vstupných surovín .....</b>	<b>45</b>
<b>8.2 Sbalkovanie na peletizačnej mise .....</b>	<b>47</b>
<b>8.3 Sušenie a výpal vzoriek .....</b>	<b>52</b>
8.3.1 Výpal vzorky N_2013.....	54
8.3.2 Výpal vzorky N_2013_v_EP .....	57
8.3.3 Výpal vzorky N_2013+EP.....	58
8.3.4 Výpal vzorky Bineko + EP .....	58
8.3.5 Výpal vzorky EP .....	60
<b>9. Popis jednotlivých procesov pri externej výrobe.....</b>	<b>61</b>
<b>9.1 Príprava vstupných surovín .....</b>	<b>61</b>
9.1.1 Stanovenie spáliteľných podielov .....	62
<b>9.2 Granulovanie na peletizačnej míse .....</b>	<b>62</b>
<b>9.3 Výpal jednotlivých vzoriek .....</b>	<b>63</b>
9.3.1 Vzorky EP+N_2015 (A,B) so 6,5 % spáliteľným podielom .....	67
9.3.2 Vzorky EP+N_2015 (C,D) so 7,5 % spáliteľným podielom .....	68
9.3.3 Vzorky EP+N_2013+USSK P6 so 6,5 % spáliteľným podielom.....	70

<b>10. Výber skúšobných metód .....</b>	<b>72</b>
10.1 Objemová hmotnosť .....	72
10.2 Sypná hmotnosť kameniva a medzerovitost' .....	73
10.3 Stanovenie mernej hmotnosti pyknometricky a stanovenie pórovitosti .....	74
10.4 Stanovenie nasiakavosti.....	75
10.5 Stanovenie pevnosti v tlaku .....	75
10.6 Prvková analýza pomocou Spektrometra NITON XL3T GOLDD.....	76
<b>11. Výsledky prevedených skúšok .....</b>	<b>78</b>
11.1 Objemové hmotnosti jednotlivých vzoriek .....	79
11.2 Stanovenie vlastností vstupných surovín .....	Chyba! Záložka nie je definovaná.
11.3 Sypná hmotnosť a medzerovitost' jednotlivých vzoriek.....	82
11.4 Merná hmotnosť a pórovitost' .....	83
11.5 Nasiakavost' .....	83
11.6 Pevnosť v tlaku.....	89
11.7 Chemická analýza pomocou röntgénového spektrometra .....	90
11.8 Vyhodnotenie vzoriek pod optickým mikroskopom STM 723 .....	93
11.8.1 Samotné vzorky N_2013 pri všetkých teplotných výpaloch.....	94
11.8.2 Ostatné laboratórne vyrábané vzorky .....	97
11.8.2.1 EP+N_2013 .....	97
11.8.2.2 N_2013_v_EP .....	98
11.9 Sledovanie výskytu výkvetov.....	100
<b>12. Záver.....</b>	<b>101</b>
<b>13. Pod'akovanie .....</b>	<b>104</b>
<b>14. Zoznam použitých prameňov .....</b>	<b>105</b>
<b>15. Prílohy .....</b>	<b>112</b>

## Zoznam použitého značenia

A	Plocha oceleovej dosky roznášajúca zaťaženie [ $\text{mm}^2$ ]
CS(10)	Pevnosť v tlaku [MPa]
F <sub>10</sub>	Zaťaženie pri 10 % deformácií [N]
k	koeficient
m <sub>1</sub>	hmotnosť prázdnej nádoby [g]
m <sub>2</sub>	hmotnosť nádoby so skúšobnou navážkou [g]
m <sub>3</sub>	hmotnosť pyknometra s navážkou a kvapalinou [g]
m <sub>4</sub>	hmotnosť pyknometra s kvapalinou [g]
m <sub>c</sub>	množstvo cementu [ $\text{kg/m}^3$ ]
m <sub>d</sub>	hmotnosť nasiaknutej vzorky [kg]
m <sub>n</sub>	hmotnosť suchej vzorky [kg]
m <sub>v</sub>	množstvo vody [ $\text{kg/m}^3$ ]
n <sub>m</sub>	nasiakavosť [%]
v	medzerovitosť [%]
V	objem nádoby [l]
V <sub>(F)</sub>	objem vody, oceleového piestu (pokiaľ je použitý) a kameniva [ml]
V <sub>P</sub>	pórovitosť [%]
V <sub>w</sub>	objem vody a oceleového piestu (pokiaľ je použitý)
$\rho$	hustota vody ako funkcia teploty [ $\text{Mg/m}^3$ ]
$\rho_b$	sypaná hmotnosť voľne sypaného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ]
$\rho_{LA}$	zdanlivá objemová hmotnosť [ $\text{Mg/m}^3$ ]
$\lambda$	súčiniteľ tepelnej vodivosti [ $\text{W/(m.K)}$ ]

## 1. Úvod

V tejto diplomovej práci je ako hlavná surovina na výrobu pórovitého kameniva použitý odpad vznikajúci po spaľovaní biomasy. Spaľovanie biomasy nesie so sebou radu výhod, pretože vo svetovom ponímaní sa vyznačuje viacerými faktormi, na ktoré sa v dnešnej dobe výrazne hľadí. Využívanie organických palív vedie k výraznej úspore prírodných zdrojov, schopnosti rýchlej regenerácie paliva a v neposlednom rade fakt, že pri je spaľovaní dochádza k nižšiemu emisnému zaťaženiu životného prostredia znečisťujúcimi látkami vypúšťanými do ovzdušia.

Betón ako taký disponuje veľkou pevnosťou, trvanlivosťou a radom iných aspektov, ale na druhej strane aj pomerne veľkou vlastnou tiažou, ktorá sa pomerne výraznou mierou podieľa pri návrhu konštrukcie. Keďže kamenivo predstavuje ako plnivo výraznú zložku v betóne je obecnou cieľom vyrobiť kamenivo s čo najmenšou objemovou hmotnosťou a zároveň vysokou pevnosťou. V súčasnosti naše stavitelstvo výraznejšie ľahké betóny nevyužíva, čo je dané vysokou cenou ľahkého kameniva.

Norma ČSN EN 13055-1 označuje ľahké kamenivo ako kamenivo s pórovitou štruktúrou a objemovou hmotnosťou do  $2\,000\text{ kg/m}^3$ . Využitie nachádza najmä u tepelnoizolačných betónov ale aj ako konštrukčné betóny a v súčasnosti aj pre betóny so schopnosťou vnútorného ošetrovania (vďaka svojej pórovitej štruktúre). Táto práca sa pri výrobe samotného kameniva zaoberá základnými poznatkami z výroby agloporitu. Agloporit je známy už desiatky rokov v minulosti bola na území Českej republiky sprevádzkovaná agloporitka ale neskôr sa od tohto nákladného projektu odstúpilo.

Celkovo je práca rozdelená do dvoch technologických častí výroby kameniva. V prvej časti sa venuje samotnej výrobe od prípravy suroviny až po jej nabaľovanie a vznik surových produktov. Pri procese nabaľovania je rada aspektov na ktoré treba dbať aby vzniknutá vzorka mala či už rovnomerný tvar alebo dostatočnú odolnosť pri manipulácii a pri výpale. Druhá časť sa venuje už samotnému výpalu, ktorý bol prevedený dvojakým spôsobom, kde raz prebiehal výpal v elektrickej peci a druhý krát vo vertikálnej peci.

## **2. Využívanie druhotných surovín v stavebníctve**

Narastajúce globálne enviromentálne problémy vytvárajú tlak na riešenie problémov ochrany životného prostredia. Stavebníctvo, vrátane výroby stavebných materiálov, je na jednej strane popredným znečisťovateľom životného prostredia, no na druhej strane vytvára veľký potenciál pri riešení mnohých environmentálnych problémov. Veľký potenciál využitia týchto odpadov sa naskytá predovšetkým pri výrobe betónu (elektrárenský popolček, kamenivo z odpadových hornín a recyklovaného betónu a pod. ) a výrobe tehliarskych výrobkov, kde sa dokonca môžu využiť také priemyselné odpady, ktorých využitie ako druhotnej suroviny je veľmi problematické. Použitie týchto odpadov pri výrobe stavebných materiálov pritom môže viesť nielen k riešeniu environmentálnych problémov, ale môže mať aj pozitívny vplyv na ekonómiu výroby týchto materiálov, prípadne môže zlepšiť aj ich kvalitu. [13]

Životné prostredie je trvalo zaťažované výrobou energie, priemyselnou a poľnohospodárskou výrobou, výstavbou a ďalšími činnosťami, Popri zvyšovaní kvality výrobkov by mala byť ochrana životného prostredia prioritou výrobného procesu každej spoločnosti.

Technológia betónu zaťažuje životné prostredie ťažbou prírodných surovín (kamenivo, vápenec pre výrobu cementu), emisiami z mechanických (drvenie, mletie) a tepelných (výpal slínku) technologických procesov a nepriamo dopravou (cestná doprava kameniva, cementu a čerstvého betónu) a spotrebou energie (výroba energie znečisťuje ovzdušie). [8]

Problematike využívania druhotných surovín a zneškodňovaniu odpadov sa vo svete venuje dlhodobo veľká pozornosť. Využívanie a recyklácia stavebných materiálov predstavuje veľký prínos pre perspektívnejšie a progresívnejšie metódy zužitkovania stavebných odpadov. V odpadovom hospodárstve je preto potrebné zosúladiť ekonomické a ekologické hľadiská tak, aby prišlo k optimálnemu riešeniu problematiky odpadov a ochrany životného prostredia. [13]

### **2.1 Priemyselné odpady v stavebníctve**

Vo veľkých priemyselných závodoch, najmä energetických sa vytvára veľké množstvo silikátových odpadov. Ich ukladanie na skládky je veľmi nákladné, zdražuje primárnu výrobu, vedie k veľkému záberu pôdy a veľmi nežiaducim spôsobom zhoršuje životné prostredie. Pritom niektoré priemyselné a zvlášť energetické odpady majú pre použitie v stavebníctve veľmi výhodné vlastnosti či už chemickým a mineralogickým zložením alebo svojou štruktúrou apod.



Pre výrobu ľahkých stavebných látok predstavujú potom energetické a iné priemyslové odpady cennú surovinovú základňu. Nevýhodou všetkých priemyslových odpadov je, že ich vlastnosti veľmi silne kolísajú, obsahujú premenlivé množstvo škodlivín, ktoré môžu ľahko znemožniť ich využitie v stavebníctve.

Vzhľadom k tomu, že zužitkovanie priemyslových odpadov je z hospodárskeho hľadiska veľmi závažné, cenovo výhodné a prispieva k ozdraveniu okolia priemyslových závodov, je rozhodnutie hospodárskych činiteľov, aby surovinovú základňu tvorili práve energetické a priemyselné odpady, správne. [13]

Niektoré priemyselné odpady je možné použiť ako pórovité kamenivo pre prípravu ľahkého betónu priam bez veľkých úprav, napr. iba vhodným podrvením a vytriedením (škvára, tehelná drvina apod.). Niektoré odpady je potrebné upravovať špeciálnymi postupmi, napr. spešovaním u vysokopecne struky, aglomeráciou u popolčeku apod. [9]

## 2.2 Popolček a jeho použitie do betónu

Podľa ČSN EN 450-1 – Popolček do betónu. Definície, požiadavky a kontrola kvality, je elektrárenský popolček definovaný ako *jemný prášok prevažne z guľovitých sklovitých častíc vznikajúcich pri spaľovaní práškovitého uhlia, ktorý má puzolánové vlastnosti. Skladá sa prevažne z  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s obsahom najmenej 25 % hmotnostných reaktívneho  $\text{SiO}_2$ .* [1]

Získava sa elektrostatickým alebo mechanickým odlučovaním prachových častíc z plynov pecí vykurovaných práškovým antracitom alebo čiernym uhlím.

Popolček vznikajúci pri spaľovaní hnedého uhlia sa môže taktiež použiť, ale za predpokladu že celkový obsah CaO je menší ako 10 % hmotnostných a vyhovuje všetkým ostatným požiadavkám normy ČSN EN 450. Zloženie popolčeka závisí od kvality spaľovaného uhlia a od spaľovacej technológie. Z hľadiska použitia v stavebníctve ho možno rozdeliť do týchto skupín [14]:

- Popolček ako aktívna zložka maltovín,
- Popolček pre výrobu mált,
- Popolček ako aktívna zložka do betónu,
- Popolček ako neaktívna zložka do betónu,
- Popolček pre výrobu pórobetónu a i.

### **2.2.1 Vplyv popolčeka na vlastnosti betónu**

Elektrárenský popolček patrí medzi puzolánové materiály. Tieto materiály obsahujú aktívny  $\text{SiO}_2$ , ktorý je schopný reagovať s  $\text{Ca(OH)}_2$  vznikajúcim pri hydratácii slinkových minerálov. V dôsledku tejto puzolánovej reakcie vznikajú nové hydratačné produkty. Táto reakcia je však pomalšia ako hydratácia slinkových minerálov a tak produkty puzolánovej reakcie postupne vyplňajú pórový systém cementového kameňa. Tým sa zvyšuje jeho hutnosť a klesá pórovitosť. Dôsledkom je zvýšenie pevnosti betónu a zlepšenie jeho ďalších vlastností, resp. možnosť zníženia dávky cementu (náhrada časti cementu popolčekom). [14]

Aplikácia popolčeka je vhodná hlavne pre nižšie triedy betónu kde sú relatívne nízke dávky cementu a teda aj nedostatok cementového tmelu. Pri náhrade časti cementu popolčekom býva množstvo použitého popolčeka väčšie ako ušetrené množstvo cementu. To vedie k zväčšeniu objemu spojivového tmela a tým k zlepšeniu spracovateľnosti (čerpaceľnosti, ukladateľnosti atď.) čerstvého betónu. Veľmi vhodná je aplikácia popolčeka v kombinácii s plastifikačnou prísadou. [14]

### **2.2.2 Pozitívne skúsenosti s použitím vhodného popolčeka do betónu**

1. Popolček vo forme fileru optimalizuje krivku zrnitosti kameniva, zvyšuje podiel jemných častíc pre dobrú čerpaceľnosť čerstvého betónu, zlepšuje spracovateľnosť a súdržnosť čerstvého betónu, znižuje náchylnosť na rozmiešanie čerstvého betónu pri doprave a spracovaní.
2. Prímes popolčeka pri betonáži masívnych betónových konštrukcií priaznivo ovplyvňuje proces tuhnutia a tvrdnutia vrátane vývoja hydratačného tepla a zvyšuje odolnosť betónu v chemicky agresívnom prostredí.
3. Popolček nezhoršuje mrazuvzdornosť stvrdnutého betónu a obmedzuje proces reversibilného zmršťovania betónu.
4. Popolček priaznivo ovplyvňuje hutnosť cementového tmelu a tesnosť povrchových vrstiev zatvrdnutého betónu proti pôsobeniu tlakovej vody, spomaľuje proces karbonatácie povrchu zatvrdnutého betónu. [15]

### 2.2.3 Negatívne skúsenosti s použitím popolčeka do betónu

Táto kapitola zahŕňa negatívne skúsenosti a riziká pri použití nevhodnej kvality alebo vyššej dávky popolčeka do betónu [15]:

1. Vysoký obsah CaO v popolčeku spôsobuje objemové zmeny čerstvého a tuhnúceho betónu, spôsobuje vnútorné napätie s rozvojom trhlin v cementovom tmele, znižuje pevnosť zatvrdnutého betónu najmä v ťahu za ohybu, prípadne môže spôsobiť deštrukciu štruktúry. Vysoký obsah SO<sub>3</sub> (celkovej síry) v popolčeku spôsobuje koróziu zatvrdnutého betónu a jeho objemové zmeny.
2. Vysoký podiel spaliteľných látok, predovšetkým obsahu nezhoreného zbytkového uhlíku v popolčeku ovplyvňuje obsah vzduchu v prevzdušnenom čerstvom betóne, narušuje proces tuhnutia a tvrdnutia čerstvého betónu, znižuje trvanlivosť betónu, napr. spôsobuje odlupovanie povrchu zatvrdnutého betónu.
3. Vysoký obsah chloridov v popolčeku môže ovplyvniť jeho celkové množstvo v betóne s rizikom korózie výstužnej oceli. Používať popolček nie je vhodné pri betonáži za nízkych teplôt.
4. Neprimerane vysoká dávka popolčeka ovplyvňuje obsah potrebnej zámesovej vody, mení reologické vlastnosti čerstvého betónu, obvykle spôsobuje tzv. bleeding – odlučovanie vody na povrchu uloženého betónu s rizikom následného zníženia trvanlivosti zatvrdnutého betónu (odolnosti vode a rozmrazovacím prostriedkom, cyklom mrazu), zvyšuje priepustnosť štruktúry betónu pri pôsobení tlakovej vody.

Tabuľka č. 1 Požiadavky na vlastnosti popolčeka do betónu podľa ČSN EN 450 [1]

Vlastnosť	Požiadavka	Podstatná vada	Početnosť skúšok	Skúšobná norma
Strata žiháním	$\leq 5 \%$ ( $\leq 7 \%$ )	+ 2 %	Jedenkrát denne	EN 196-2
Obsah chloridov	$\leq 0,10 \%$	$\pm 0,01 \%$	Jedenkrát mesačne	EN 196-21
Oxid sírový	$\leq 3,0 \%$	+ 0,5 %	Jedenkrát mesačne	EN 196-2
Volné CaO	$\leq 1,0 \%$ ( $\leq 2,5 \%$ )	+ 0,1 %	Jedenkrát týždenne	EN 451-1
Jemnosť	$\leq 40 \%$ $\pm 10 \%$ )	$\pm 5 \%$	Jedenkrát denne	EN 451-2
Index účinnosti	Po 28 dňoch 75 % Po 90 dňoch 85 %	-5 %	Dvakrát mesačne	EN 196-1
Objemová stálosť	$\leq 10 \text{ mm}$	+1,0 mm	Jedenkrát týždenne	EN 196-3

### 2.3 Drvený betón – recyklát

Drvený betón (recyklát) je využívaný ako kamenivo z ekologických dôvodov, jednak dochádza k úspore prírodných zdrojov kameniva a jednak nie je nutné zaberať ďalšiu pôdu pre skládku stavebného odpadu asanovaných betónových konštrukcií. Použitie drveného betónu ako kameniva do betónu naráža na niektoré problémy. Tento odpad nie je dostatočne homogénny, zrna rozdrveného betónu majú menšiu pevnosť a mrazuvzdornosť, vzniká veľký podiel frakcií 0-4 mm, ktorý je v betóne obtiažne využiteľný (tieto podiely sú viac pórovité a prevažne obsahujú cementový kameň), preto je nutná častejšia kontrola vlastností drveného betónu. Súdržnosť cementového kameňa so zrnami recyklátu je veľmi dobrá. Väčšinou sa používa len hrubá frakcia drveného betónu spolu s prírodným pieskom, frakciu 0-4 mm je možné použiť ako kamenivo v maltách. [8]

Porovnanie jednotlivých atributov drveného a prírodného kameniva [8]:

- približne rovnaká merná hmotnosť,
- drvený betón má o 7 až 10 % nižšiu objemovú hmotnosť,
- sypná hmotnosť v zhutnenom stave drveného betónu je o 15 až 18 % nižšia ako u rovnakej frakcie prírodného kameniva,
- medzerovitosť drveného betónu je 10-15 % vyššia,
- nasiakavosť drveného betónu je niekoľkonásobne vyššia.

Recyklované materiály používané v cestnom staviteľstve musia byť overované na obsah škodlivých látok vo výluhu, aby sa eliminovalo nebezpečie kontaminácie spodných vôd.

Požiadavky na maximálny obsah škodlivých látok [8]:

- požaduje sa pH 7 až 12,5,
- elektrická vodivosť max. 250 mS.m<sup>-1</sup>,
- max. obsah iónov SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 3 – 6 a Cl<sup>-</sup> 0,4 – 1,5 g.kg<sup>-1</sup>,
- max. obsah prvkov v mg.kg<sup>-1</sup>: As 0,5; Cd 0,1-0,3; Cr<sup>VI</sup> 0,3-0,5; Cu 1-5; Ni 0,2-1; Pb 0,4-5; Zn 2-5.
- výluh môže obsahovať najviac 0,03 až 0,05 mg.kg<sup>-1</sup> polycyklických aromatických uhľovodíkov.

## 2.4 Kremičité úlety, silika

Kremičité úlety sú odpadom niektorých hutníckych prevádzok (výroba ferosilícia). V súčasnosti sa už účelovo vyrábajú a sú komerčne dodávané v prášku i v suspenziách. Vyznačujú sa mimoriadne veľkým merným povrchom a dobrými pucolánovými vlastnosťami. Obsahujú 80-98 % amorfného SiO<sub>2</sub> v tvare guľatých zŕn o priemere asi (1-2).10<sup>-7</sup> m, pri mernom povrchu 15 000 až 25 000 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup> a mernej hmotnosti 2 120 kg.m<sup>-3</sup>. Požaduje sa strata žiháním do 4 %. Kremičité úlety sú aktívne prímеси do cementu i betónu. Zlepšujú vlastnosti čerstvého betónu, ako je odmiesenie, bleeding, čerpatelnosť, avšak zvyšuje potrebné množstvo vody o 1 liter na 1 kg kremičitých látok pre dosiahnutie rovnakej spracovateľnosti. [8]

Kremičité úlety ovplyvňujú pórovitú štruktúru a tým i niektoré vlastnosti zatvrdnutého betónu [8]:

- Zvyšuje pevnosť betónu i pri redukcii množstva cementu, používajú sa pre vysokohodnotné betóny s pevnosťou v tlaku nad 75 MPa,

- Zvyšujú odolnosť proti agresívnym médiám, obmedzujú alkalický rozpad kamenina, znižujú rýchlosť karbonatácie betónu.

Maximálna dávka siliky podľa EN 206 sa uvádza pomerom: silika/cement  $\leq 0,11$  hmotnosti. Vodný súčiniteľ podľa vzorca (1) sa upravuje pomocou koeficientu  $k = 2,0$  (okrem  $w > 0,45$  pre expozičné triedy XC a XF, kde má hodnotu  $k = 1,0$ ). Súčet hmotností (cement +  $k \times$  silika) nesmie klesnúť pod hodnotu minimálneho množstva cementu príslušnej expozičnej triedy betónu (pri požiadavke min.  $300 \text{ kg.m}^{-3}$  cementu maximálne o  $30 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Obvykle sa silika dávkuje 5 % až 10 % hmotnosti cementu. [8]

$$w = \frac{m_v}{m_c - k \cdot m_p} \quad [8]$$

kde:  $w$  ... vodný súčiniteľ [-],

$m_v$  ... je množstvo vody [ $\text{kg.m}^{-3}$ ],

$m_c$  ... je množstvo cementu [ $\text{kg.m}^{-3}$ ],

$k$  ... koeficient.

## 2.5 Granulovaná vysokopecná troska

Vysokopecná granulovaná troska je latentne hydraulická látka, ktorá vzniká rýchlym ochladzovaním tečúcej taveniny zásaditej trosky, ktorá odpadá ako vedľajší produkt pri výrobe surového železa vo vysokej peci. Ak je tavenina rýchlo schladená, zabráni sa jej kryštalizácií a tým sa stabilizuje jej sklovitý charakter. Rýchle ochladenie má udržať trosku v sklenenom stave, pretože vtedy má pri vhodnom zložení taveniny latentne hydraulické vlastnosti. Po granulácii sa musí troska zomlieť, aby bolo dosiahnuté potrebného špecifického merného povrchu (podobného ako u cementu asi  $350$  až  $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ ). Základný parameter pre použitie trosky ako neinertnej prímеси je jej modul zásaditosti  $M_z$ . [16]

$$M_z = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad [16]$$

Jednotlivé zlučiny dosadíme v percentuálnom hmotnostnom zastúpení. Pre trosky používané ako latentne hydraulické látky požadujeme  $M_z$  väčšie ako 1. Pokiaľ je modul zásaditosti menší ako 1, jedná sa o trosky kyslé, ktoré používame iba ako kamenivo.

Troska, podobne ako ostatné druhotné suroviny, vykazuje premenlivé chemické zloženie. Zastúpenie jednotlivých zložiek je nasledujúce: CaO 30 až 50 %,  $SiO_2$  30 až 43 %,  $Al_2O_3$  10 až 20 %,  $Fe_2O_3$  1 až 3 %,  $MgO$  1 až 3 %,  $Na_2O$  0,5 až 1 %,  $K_2O$  0,5 až 1 %,  $SO_3$  0,5 až 1 %,  $Cl_2$  0,5 až 1 %,  $F_2$  0,5 až 1 %,  $CO_2$  0,5 až 1 %,  $H_2O$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Na$  0,5 až 1 %,  $K$  0,5 až 1 %,  $S$  0,5 až 1 %,  $Cl$  0,5 až 1 %,  $F$  0,5 až 1 %,  $C$  0,5 až 1 %,  $O$  0,5 až 1 %,  $N$  0,5 až 1 %,  $H$  0,5 až 1 %,  $Ca$  0,5 až 1 %,  $Mg$  0,5 až 1 %,  $Si$  0,5 až 1 %,  $Al$  0,5 až 1 %,  $Fe$  0,5 až 1 %, <

$\text{Al}_2\text{O}_3$  5 až 18 %,  $\text{MgO}$  1 až 15 %,  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  0,2 až 3 %,  $\text{S}^{2-}$  0,5 až 3 % a  $\text{MnO}$  0,2 až 2 %.  
[16]

## 2.6 Energosadrovec

Energosadrovec vzniká v elektrárnách ako vedľajší produkt odsírenia spalín metódou mokrej vápencovej vypírky. Využíva sa ako náhrada prírodného sadrovca, keďže jeho hlavnou zložkou je dihydrát síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Jedná sa o veľmi čistý materiál (čistota až 97-98 %) na rozdiel od vytŕaženého sádrovca, jeho čistota sa pohybuje maximálne okolo 70-75 %. Energosadrovec je často využívaný v stavebnom priemysle. Využíva sa pre výrobu cementu, sadrovej omietky, pórobetónu, sadrokartónových a sadrovláknitých dosiek. [17]

### 3. Biomasa

Spaľovanie biomasy má vo svetovom merítku veľký ekologický prínos. Už dnes býva často označované ako „palivo budúcnosti“. Pri spaľovaní biomasy nie sú v spalinách prítomné pevné úlety a oxid siričitý. Oxid uhličitý, ktorý vzniká pri spaľovaní, má v prípade biomasy takzvanú nulovú bilanciu. To znamená, že pri spaľovaní sa do ovzdušia uvoľní len také množstvo oxidu uhličitého, ktoré prijímala pôvodná rastlina z ovzdušia v priebehu fotosyntézy.

Ako biomasa je obecné označovaná všetka živá hmota, tj. rastliny aj živočíchy. Pojem biomasa v súvislosti s energetickým využitím označuje materiál rastlinného pôvodu. Tento materiál môže byť vo svojej pôvodnej forme, rôznymi spôsobmi upravený, alebo zbytky a odpady zo spracovania týchto materiálov. V niektorých prípadoch sa zahrňujú materiály ako organický podiel z tuhých komunálnych odpadov alebo organické kaly z ČOV apod.

Biomasa nie je v zmysle zákona definovaná ako palivo, ale vyhláškou 252/2000 Sb. definovaná ako rastlinný materiál, ktorý je možné použiť ako palivo pre účely využitia jeho energetického obsahu, pokiaľ pochádza z poľnohospodárstva, lesníctva alebo z potravinárskeho priemyslu, z výroby buničiny a výroby papiera z buničiny, zo spracovania korku, zo spracovania dreva s výnimkou drevného odpadu, ktorý obsahuje halogénové zlúčeniny alebo ťažké kovy v dôsledku ošetrovania látkami na ochranu dreva alebo náterovými hmotami a drevný odpad pochádzajúci zo stavebníctva. [19]

Zatiaľ čo v prípade energetického využívania slnka a vetru hrá významnú rolu počasie a nutnosť vyrábanú elektrinu okamžite spotrebovať (čo kladie zvýšené nároky na regulácie siete), disponuje bioenergetika ľahkou a prirodzenou možnosťou akumulácie energie skladovaním paliva. Závislosť na počasí a klimatických podmienkach existuje, ale je však menej výrazná a prejavuje sa napríklad kolísaním hektárových výnosov v prípade pestovania energetických plodín. [10]

#### 3.1 Zdroje biomasy

Zdroje biomasy je možné rozdeliť na: [10]

##### 1) Odpadová biomasa:

Do tejto kategórie sa zaradzuje sláma, lesný odpad, odpad zo živočíšnej i rastlinnej výroby, zbytky z drevospracujúceho priemyslu, potravinárskeho priemyslu a ďalších príslušných odvetví.



Využitím odpadných surovín z predošlej výrobnjej produkcie pomáhame zabrániť rozširovaniu skládok, na ktorých by ich väčšina skončila. Z voľne ležiacej slamy na zemi je možné napríklad vytvoriť balíky slamy, pelety alebo ju spaľovať ako voľne ložené palivo. Za drevný odpad sú považované voľne ležiace vetvy a zbytky stromov po ťažbe dreva. Ten je opäť použiteľný ako palivo alebo sa môže spracovať na ďalšie typy (štiepka, pelety). Zbytky z drevospracujúceho priemyslu je možné využiť na výrobu peliet či brikiet.

## 2) Zámerne pestovaná biomasa

Relatívne novým zdrojom k energetickému a priemyslovému využitiu sú porasty špeciálnych plodín, ktorých hlavnou výhodou je vysoká produkcia biomasy. Jedná sa o rýchlo rastúce rastliny ako sú dreviny (topoľ, vrba) a byliny (repka, obilniny, ľan atď.) s vysokým nárastom výnosu. Určité formy biomasy, najmä organického pôvodu a nedrevnatých rastlín, sú vhodné k výrobe bioplynov alebo iných biopalív.

### **3.2 Biomasa Veľký Karlov**

Vstupný materiál v tejto práci predstavuje odpad pri spaľovaní rastlinnej biomasy v obci Veľký Karlov. Sústava centralizovaného zásobovania teplom vo Veľkom Karlove poskytuje teplo približne 124 rodinným domom a niekoľkým objektom občianskej vybavenosti (obecný úrad, škôlka, kultúrno-spoločenský sál, 2 nákupne strediská, reštaurácia, ubytovňa a kabíny TJ). Celkový požadovaný tepelný výkon pre 100 % pripojení je 1 914 kW, z toho výkon rodinných domov predstavuje 1 624 kW a objekty občianskej vybavenosti cca 290 kW. [18]

V tejto práci bol využitý odpad pri spaľovaní repkovej slamy, ktorý vytváral tzv. nápek v kotly. V nedávnej minulosti bolo cieľom eliminovať problematické chovanie biomasového popola súvisiaci s jeho nízkou eutektickou teplotou (teplotou topenia). Nízka teplota eutektickej teploty spôsobovala tvorbu skelných nálepor na povrchu žiarobetónu výmuroviek dna plamena kotlového výmenika tepla. Nápek je tvorený z čiastočiek biomasového popola spalinami uneseného do priestoru plamena a jeho vznik je daný vysokou teplotou spalín v tejto kotlovej zóne. Teplota tu môže dosahovať až 1 100 °C. [19]

Na obrázku č. 2 je znázornený podrvený odpad získaný po spaľovaní biomasy z roku 2013. Odpad tvoril popol a vo veľkej miere aj problematický nápek. Nápek sa v niektorých prípadoch vyskytoval vo forme väčších kusov (až 80 cm).



*Obrázok č. 1 – Kotelňa s komínom a akumulátorom tepla v obci Velké Karlovice [18]*

Nalepovanie skla v priestore dna plamena kotlového výmenníka tepla komplikovalo čistenie. K odstráneniu skla z povrchu žiarobetónových výmuroviek bolo používané mechanické náradie a tým dochádzalo k odlupovaniu povrchových častí žiarobetónu v hrúbke cca 5 mm. To by viedlo k postupnému stenčovaniu týchto výmuroviek, ich následnej výmene, a tým by sa pochopiteľne značne predražila prevádzka kotolne. [19]



*Obrázok č. 2 – Už podrvený odpad po spaľovaní biomasy z roku 2013*

V snahe eliminovať výskyt týchto nálepor došlo k zmene technológie. V súčasnosti sa pri spaľovaní využíva nerezový kotol, ktorý je chladený vodou čím sa znižuje teplota na kontakte medzi samotným kotlom a spaľovanej suroviny. To ma za príčinu aj zvýšený podiel spáliteľných látok. V súčasnosti sa odpad po spaľovaní biomasy vyskytuje najmä vo forme popola v ojedinelých prípadoch sú to väčšie spečence ako je napr. na obrázku č. 3.



*Obrázok č. 3 – Ojedinelý spečenec získaný po spaľovaní biomasy z roku 2015*

### **3.3 Biomasa Rajec**

Kotolňa na spaľovanie biomasy Bineko spol., s. r. o sa nachádza v Rajci približne 30 km od Žiliny. Spaľuje sa tu predovšetkým drewná štiepka a vznikajúci odpad je vo forme popolčeka. Tento centrálny zdroj tepla poskytuje teplo približne 120 bytovým jednotkám vrátane niekoľkých objektov občianskej vybavenosti (škôlka, gymnázium Rajec apod.)

Obečne je známe, že proces spaľovania drevoštiepky ovplyvňuje najmä jej vlhkosť a kvalita. Výhrevnosť suchej drewnej štiepky je oveľa vyššia, ako u mokrej drewnej štiepky. Drewné štiepky sú vhodné pre spaľovanie v zariadeniach s vyššími výkonmi (kotolne, centrálné zdroje tepla). Prehľad výhrevnosti pevnej biomasy je uvedený v tabuľke č. 2

Tabuľka č. 2 – Výhrevnosť pevnej biomasy v závislosti na obsahu vody

Biomasa	Obsah vody [%]	Výhrevná hodnota	
Čerstvá drevná štiepka	60	1,72 kWh/kg	6,18 MJ/kg
Drevná hmota z lesa	55	2,00 kWh/kg	7,2 MJ/kg
Polená skladované 2 – 3 roky	20	4,00 kWh/kg	14,4 MJ/kg
Slama	15	4,00 kWh/kg	14,3 MJ/kg
Pelety	10	4,70 kWh/kg	16,9 MJ/kg

## 4. Pórovité kamenivo

Pórovité kamenivo je veľmi významným stavivom, ktoré povedľa vhodných maltovín a vody je hlavnou surovinou pre celú veľkú skupinu ľahkých betónov. Dôležitou je i okolnosť, že príprava ľahkého betónu z pórovitého kameniva je do istej miery analogická z klasickým postupom pri príprave obyčajného betónu. Pórovité kamenivo delíme podľa pôvodu na niekoľko prirodzených skupín. Bližšie rozdelenie pórovitého kameniva je uvedené v prehľade druhu kameniva používaného pre výrobu ľahkých betónov uvedeného v tabuľke č. 2. [9]

Európske normy (ČSN EN 13055-1) používajú označenie ľahké kamenivo na kamenivo s pórovitou štruktúrou, so sypanou hmotnosťou do  $1\,200\text{ kg/m}^3$  a objemovou hmotnosťou zrna do  $2\,000\text{ kg/m}^3$ . Pórovité kamenivo sa uplatňuje najmä pri výrobe ľahkých mált a betónov s tepelnoizolačnými účinkami, Používajú sa prírodné aj umelo vyrobené pórovité kamenivá. [2]

### 4.1 Prírodné pórovité kamenivá

Prírodné pórovité kamenivo sa získava z ľahkých hornín vhodných vlastností. Môžu to byť horniny vulkanického pôvodu alebo pórovité sedimenty. Pri prírodných pórovitých kamenivách zaznamenávame kolísanie hmotností a nerovnomernosť vlastností. Pretože sa väčšinou vyrábajú drvením hornín, majú aj ďalšie nevýhody – môže v nich byť veľké percento prachu a ich pórovitosť je do značnej miery otvorená. Väčšina pórovitých hornín je pomerne nasiakavá a náchylná na objemové zmeny spôsobené zmenami vlhkosti. [11]

### 4.2 Pórovité kamenivá z priemyselných odpadov

Z priemyselných odpadov sa ako pórovité kamenivo využívajú škvara, spenená troska a recyklované tehlové murivo.

Škvara vzniká ako odpad spaľovania pevných palív v roštových peciach. Jej použitie závisí od druhu paliva, z ktorého vznikla. Pri čerstvej škvare sú nebezpečné nespálené zvyšky, ktoré sa zatiaľ nerozložili (ich množstvo je preto limitované na max. 10 %). Zlúčeniny síry, najmä sírniky, môžu ovplyvňovať tuhnutie cementu. Objemovú nestálosť škvary môžu spôsobovať voľné oxidy CaO a MgO, ktoré sa však dlhším odležaním samovoľne vyhasia. Škvara využívaná v stavebníctve sa posudzuje aj z hľadiska obsahu rádioaktívnych izotopov.

Spenená troska vzniká pri hutníckom spracovaní kovových rúd prudkým schladením žeravej tekutej trosky vodou. Kvalita spenenej trosky často kolíše, preto sa od jej použitia upúšťa a používa sa nespenená troska (chladená vzduchom) ako hutné kamenivo. [11]

Tabuľka č. 3 Prehľad druhov kameniva používaného pre výrobu ľahkých betónov [9]

anorganické kamenivo pórovité	prírodné		vulkanické tufy
			tufity
			prírodná pemza
			vápenná tuf
			spongility
			diatomity
	umelé	priemyslové odpady	škvára
			popolček
			tehelná drť
			odpad penového skla
		odpady upravené	spenená troska
			popolček. agloporit
		vlastné kamenivo      umelé	tehloporit
			kavitit
			keramzit
			vermikulit
			perlit
			expandit
organické výplne	prírodné		piliny
			štiepky
			sláma
	umelé		penový polystyrén
hutné kamenivo	drobné		piesok
			granulované trosky
	hrubé		hutné horniny
			kusová troska

Tehlová drvina vzniká v malom množstve ako odpad z tehliarskej výroby, ale prevažne drvením tehlovej sutiny. Nevýhodou je nákladné triedenie sutiny, pri ktorom sa oddeľujú ostatné materiály (drevo atď.) a nerovnomerná kvalita. V súčasnosti sú k dispozícii mobilné drvičky, ktoré umožňujú vyrábať tehlovú drvinu priamo na mieste budúcej spotreby. [11]

### 4.3 Pórovité kamenivá z prírodných zdrojov

Medzi pórovité kamenivá vyrobené z prírodných zdrojov patrí napr. keramzit, sklený granulát, expandovaný perlit, expandovaný vermikulit, expandit apod.

**Expandovaný perlit** je drobné pórovité kamenivo vyrobené žihaním zŕn vulkanického skla obsahujúceho vodu. Vyrába sa tepelným spracovaním horniny sopečného pôvodu – perlitu (amorfný kremičitan hlinitý sopečného pôvodu). [14]

Tepelným spracovaním pri teplotách 900 až 1 300 °C expanduje táto hornina na produkt vo forme drobných dutých guľôčok s maximálnou veľkosťou 4 mm. Množstvo zŕn s veľkosťou nad 1 mm sa pohybuje v rozpätí 0 až 30 %. Pri expandovaní sa objem perlitu zväčšuje 5 až 10 krát. Expandovaný perlit je zdravotne neškodný, biologicky aj chemicky inertný, nehorľavý a odolný proti mrazu. Je objemovo stály a má sytnú hmotnosť od 50 do 120 kg/m<sup>3</sup>. Má veľmi nízku hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti ( $\lambda = 0,045$  až  $0,10$  W/(m.K)) a preto sa v stavebníctve používa najmä ako tepelná a zvuková izolácia. [11]

**Expandovaný vermikulit** sa vyrába z vermikulitu – hydratovaného laminárneho horečnato-hlinito-železitého silikátu (fylosilikátu), ktorý sa vzhľadom podobá slúde. Vznikol postupným zvetraním a čiastočnou hydratáciou flogopytových a biolitových slúd. Ak je vystavený vysokej teplote (1 000 °C), šupinky vďaka interlaminárnemu obsahu vody, ktorá sa mení na paru, expandujú. Zväčšenie objemu je osem až dvadsaťnásobné. Chemické zloženie sa líši podľa lokality. Maximálna veľkosť zrna je 16 mm, sytná hmotnosť sa pohybuje od 60 do 200 kg/m<sup>3</sup>. [11]

Vermikulit sa pre nízku tepelnú vodivosť, nízku špecifickú hmotnosť a žiaruvzdornosť používa v zlievarňach a oceliarniach ako izolačný materiál na ingoty či odliatky, napr. medzi jednotlivými krokmi výroby či na zabránenie pnutia materiálu, ktoré spôsobuje rýchle ochladenie. Používa sa aj na protipožiarnu ochranu stavebných konštrukcií. Na tento účel sa vyrábajú platne, v ktorých sa vermikulit spája anorganickým spojivom. [11]

**Expandit** je ľahčené kamenivo, ktoré sa získava expanziou bridlice. Vyrába sa podobne ako keramzit a má aj podobné vlastnosti. Používa sa na zlepšovanie vlastností medzerovitých betónov a ako kamenivo na ľahké konštrukčné betóny. [11]

#### 4.3.1 Keramzit

Keramzit je kamenivo, ktoré sa vyrába žíhaním granúl ílových alebo piesočnatohlinitých hornín (ílov, piesočnatých ílov, bridlíc, argilitu, siltu), hornín obsahujúcich šungit, tripolity, popolčekovo troskové zmesi alebo popolčky a úlety tepelných elektrární, ktoré pri žíhaní súčasne expandujú. [14]

Vytážený íl sa v niekoľkých stupňoch drví, plastikuje a rôznymi spôsobmi tvaruje na granuly potrebnej veľkosti a tvaru. Tieto granuly prechádzajú rotačnou pecou, kde expandujú pri teplote asi 1 150 °C. Potom sa expandovaný granulát chladí a triedi na jednotlivé frakcie. Časť sa ďalej spracúva drvením. Vyznačuje sa pomerne krehkými guľovitými zrnami s rovnomernou vnútornou pórovitou štruktúrou a uzavretým spekaným povrchom. K základným vlastnostiam keramzitu patria mala nasiakavosť, stálosť, zdravotná neškodnosť, nízka hmotnosť a pevnosť (viac tabuľka č. 3). Je tepelne a zvukovoizolačný, odoláva kyselinám a luhom. [11]

Najčastejšie sa materiál voľne sype do výplňových a izolačných zásypov a podkladových vrstiev. Pre dobré izolačné vlastnosti sa používa na zasýpanie v stropoch, nad klenbami a v strešných konštrukciách, na podsypy podláh a na izolačné zásypy energovodov. Veľkou aplikačnou skupinou sú ľahké betóny, ktoré sa používajú na monolitické vrstvy a stavebné konštrukcie, na výrobu dielcov alebo tvaroviek. [11]



Tabuľka č. 4 – Základné parametre keramzitového kameniva [11]

Frakcia	Sypná hmotnosť (kg/m <sup>3</sup> )	Objemová hmotnosť zrna (kg/m <sup>3</sup> )	Pevnosť v tlaku (MPa)	Súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda$ (W/(m.K))
8 – 16	275	550	0,7	0,09
8 – 16	600	1 100	4,5	0,14
4 – 8	350	625	1,1	0,1
4 – 8	450	850	2	0,11
4 – 8	650	1 200	7	0,14
4 – 8	800	1 500	10	0,19
4 – 8	950	1 825	12	0,23
0 – 4	500	875	4	0,11
0 – 4	625	1 050	6	0,14
2 – 4	450	800	3	0,11
0 – 2	575	1 050	6	0,12

#### 4.3.2 Sklený granulát

Podobným výrobkom je drobné ľahké kamenivo vyrábané z drveného odpadového skla. Pri jeho výrobe sa rozdrvené odpadové sklo jemne zomelie a potom sa granuluje. **Sklený granulát** sa ve expandačnej peci pri teplote 900 °C spečie a expanduje. Vznikajú zrná uzavretého guľovitého tvaru s rovnomernou, veľmi poréznou štruktúrou a dobre uzavretým povrchom. Vďaka tejto štruktúre má expandovaný sklený granulát dobrú pevnosť (pevnosť v tlaku okolo 12 MPa) pri nízkej hmotnosti (od 290 do 540 kg/m<sup>3</sup>). Sypná hmotnosť sa pohybuje v rozpätí 190 až 300 kg/m<sup>3</sup> a súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  od 0,07 W/(m.K). Zrná sú tvarovo stabilné do teploty 750 °C. [11]

## 4.4 Ľahký betón

Ľahké betóny tvoria zvláštnu skupinu medzi bežnými betónmi vzhľadom k svojej nižšej objemovej hmotnosti a tým i lepším tepelnoizolačným vlastnostiam. Prevažne boli a sú známe ako betóny **izolačné** alebo **výplňové**. Vďaka pórovitému kamenivu je možné vyrobiť betóny pre účely **konštrukčné**. Týmto betónom hovoríme ľahké konštrukčné betóny (ďalej len LKB). [12]

Do skupiny ľahkých betónov sa zaraďujú betóny vyľahčené dutinami a väčším množstvom pórov priamo v textúre betónu, ktoré boli vyrobené použitím pórovitého kameniva či pomocou plynotvorných a penotvorných prísad. Ako plnivá sa niekedy používajú aj rôzne upravené priemyselné odpady. Oproti bežnému betónu sa vyznačuje zníženou objemovou hmotnosťou pod 2 000 kg/m<sup>3</sup>. [11]

Používanie ľahkých betónov ma radu aspektov [12]:

- Technické,
- Ekonomické,
- Ekologické

**Technické aspekty** sú veľmi významné. Dokáže sa vyrobiť LKB z agloporitu, s plnou štruktúrou s objemovou hmotnosťou okolo 1 800 kg/m<sup>3</sup> a pevnosťou v tlaku 40 MPa. Zníženie objemovej hmotnosti LKB oproti betónu s prírodným kamenivom o 25 % umožní statikovi pri konštrukciách, kde vlastná tiaž konštrukcie tvorí podstatnú časť stáleho zaťaženia (mosty, výškové stavby, zavesené strechy apod.) navrhnuť menej hmotnú konštrukciu.

Neopomenuteľné sú i **ekologické aspekty** používania LKB. Pórovité kamenivá sú často vyrábané z priemyslových odpadov (spenená granulovaná troska, agloporit). Zníženie hrozby devastácie územia, ktoré slúžia ako skládky pre trosky i popolčeky i zníženie devastácie ovzdušia je iste závažným argumentom pre ich spracovanie. [12]

### 4.4.1 Rozdelenie ľahkých betónov

Ľahký betón môžeme rozdeliť podľa účelu použitia na [11]:

- a) **Konštrukčný ľahký betón**\_ používaný na ukladanie do debnenia (možno ho aj čerpať) alebo vo forme prefabrikátov v pozemnom stavitel'stve. Môže byť vystužený obyčajnou alebo predpätou výstužou (pozemné, dopravné a priemyselné stavitel'stvo).

**b) Konštrukčno-tepelnoizolačný (izolačne nosné betóny)**\_\_\_\_ľahký betón, predovšetkým vo forme tvaroviek a dielcov z pórobetónu a plynobetónu.

**c) Tepelnoizolačný ľahký betón (izolačný betón)**, ktorým môžu byť plynobetóny, penobetóny a ľahké betóny s organickým plnivom s veľmi nízkou objemovou hmotnosťou (približne do 400 kg/m<sup>3</sup>).

Podľa štruktúry betónu ho delíme na:

- **Pórovité** – mikropority a makropority,
- **Medzerovité** – vyľahčením objemu betónu medzerovitou štruktúrou,
- **Hutné** – konštrukčné, nosné, plná štruktúra betónov cementových podľa spôsobu vyľahčenia a druhov výplne.

Najčastejším plnivom ľahkých betónov je kamenivo na báze expandovaného ílu (keramzit – viac kapitola 4.3.1), prípadne aj spekané popolčky. Hlavnými overovanými vlastnosťami z hľadiska použitia ľahkých betónov sú pevnosť v tlaku a objemová hmotnosť. Podľa týchto kritérií sa betóny klasifikujú do tried zavedených v ČSN EN 206-1. Uvedená klasifikácia neplatí pre pórobetóny, penobetóny, betóny s otvorenou štruktúrou (medzerovité – monofrakčné) a betóny s objemovou hmotnosťou menšou než 800 kg/m<sup>3</sup>. [11]

Tabuľka č. 5 – Všeobecné vlastnosti ľahkých betónov [11]

Druh ľahkého betónu	Súčiniteľ tepelnej vodivosti W/(m.K)	Pevnosť v tlaku MPa
konštrukčný	nepredpisuje sa (býva < 1)	> 15
konštrukčno-tepelnoizolačný	0,25 až 0,50	3 až 15
tepelnoizolačný	< 0,25	< 3

#### 4.4.2 Ľahký vysokopevnostný betón

Vysokopevnostný betón (tiež označovaný HSC) je podľa ČSN EN 206 definovaný ako „betón, ktorý má pevnostné triedy v tlaku väčšie ako C 50/60 pre obyčajný a ťažký betón a LC 50/55 pre ľahký betón“. Najnižšia trieda HSC je teda C 55/67 respektíve LC 55/60. Tento druh betónu patrí medzi tzv. vysokohodnotné betóny (HPC), ktoré sa oproti obyčajným betónom vyznačujú jednou alebo viac nadpriemernými vlastnosťami. Medzi vysokohodnotné betóny dnes zaradzujeme betóny vysokopevnostné, ultravysokých pevností, samozhutiteľné, vláknobetóny, prevzdušnené vysokohodnotné betóny, ľahké vysokohodnotné betóny apod.

Ľahký vysokopevnostný betón je možné zaradiť medzi špeciálny, v súčasnosti však nie neobvyklý typ vysokopevnostného betónu. Nízke objemové hmotnosti (pod 2 000 kg/m<sup>3</sup>) je u neho dosiahnuté použitím ľahkého pórovitého kameniva. [20]

Pri porovnaní parametrov hutného a pórovitého kameniva je jasné, že pórovité kamenivo nedosahuje také pevnostné charakteristiky ako klasické hutné kamenivo. Rovnako je nutné brať do úvahy pórovitosť z hľadiska absorpcie vody v čerstvom betóne. Tieto na prvý pohľad horšie vlastnosti oproti klasickému kamenivu môžu byť vyvážené významným znížením objemovej hmotnosti za súčasného dosiahnutia uspokojivých pevností. [20]

Objemová hmotnosť sa v prípade vysokopevnostných betónov s hutným kamenivom pohybuje v rozmedzí cca 2 300 až 2 450 kg/m<sup>3</sup> na rozdiel od HSC s ľahkým kamenivom kde objemová hmotnosť dosahuje hodnotu 1 800 až 2 000 kg/m<sup>3</sup>. Tu je zjavná významná skutočnosť – dochádza k poklesu hmotnosti konštrukcie o cca 13 až 27 %. Dosiahnutý výrazný hmotnostný úbytok sa následne premietne po ekonomickej stránke, návrhu samotnej konštrukcie (zmenšenie prierezu nosných prvkov) atď. [20]

#### **4.4.2.1 História ľahkých vysokopevnostných betónov**

Problematikou ľahkých vysokopevnostných betónov sa zaoberali bývalí viacerí autori. Experimentálne bolo preukázané, že je možné vyrobiť LWHSC s pevnosťami vyššími ako 60 MPa. Zhang a GjØrv (1990) dosiahli pri betóne s objemovou hmotnosťou čerstvej zmesi 1 865 kg/m<sup>3</sup> pevnosti v tlaku o niečo vyššie ako 100 MPa stanovené na kockách o hrane 100 mm. Nielsen a Aitcinem (1992) dosiahli po 91 dňoch pevnosti 97,7 MPa pri betóne objemovej hmotnosti čerstvej zmesi 2 085 kg/m<sup>3</sup>.

Berra a Ferrara (1990) dosiahli pevnosti 60 MPa nameraných na kockách o hrane 150 mm s objemovou hmotnosťou 1 700 kg/m<sup>3</sup>, pri využití piesku s nízkou objemovou hmotnosťou. Všetci autori sa vo svojich záveroch zhodujú, že tieto pôsobivé výsledky môžu byť dosiahnuté iba s vhodným typom pórovitého kameniva. [20]

## 5. Popolčekový agloporit a iné spečené priemyselné odpady

Ako agloporit označujeme skupinu pórovitých kamenív vyrábaných spekaním, krátkodobým výpalom prevedeným spravidla na aglomeračných roštoch. Ako suroviny sa používajú predovšetkým rôzne odpadné materiály z energetického, hutného a iného priemyslu, ktoré môžu mať rozdielne fyzikálne a chemické zloženie a ich odstraňovanie zo závodu môže byť nákladné. [9]

Agglomeráciu na slinovacích roštoch môžeme previesť s najrôznejšími surovinami, ako sú škvara, popolčky, uhoľnaté bridlice, uhoľné kaly, najrôznejšie druhy trosiek i odpady z domácnosti. Obzvlášť výhodné sú také suroviny, ktoré už samé o sebe obsahujú určité množstvo horľavín, takže po zapálení na aglomeračnom rošte sú pri presievaní vzduchu schopné ďalej sa prepaľovať. Niektoré suroviny sú schopné pri aglomeračnom pochode tiež expandovať, tj. podstatne nadobúdať objem. Pre výrobu agloporitu však táto vlastnosť nie je typická. [9]

Agloporit je na našom území známy už niekoľko desiatok rokov. Okolo roku 1970 bola sprevádzkovaná agloporitka s cieľom vyrábať cca 100 000 ton kameniva za rok. Krátko po sprevádzkovaní sa však našlo iné využitie pre čiernouhoľný popolček a od nákladného projektu sa odstúpilo. Jednalo sa o popolček, ktorý obsahoval len nepatrné množstvo uhlíka (do 4 %), výroba agloporitu vyžaduje v optimálnom prípade 7 – 10 %. To nútilo výrobcov pridávať do suroviny istý podiel uhoľnej múčky, čo zvyšovalo náklady na výrobu. V období krátko po sprevádzkovaní výrobného závodu bolo zistené, že pridaním samotného popolčeku ako prímеси do betónu sa môžu zlepšiť niektoré jeho fyzikálno-mechanické parametre betónových konštrukcií. Najmä táto situácia zapríčinila ukončenie nákladného projektu. [9]

Súčasný český alebo slovenský staviteľstvo výraznejšie ľahké betóny nevyužíva, čo je dané vysokou cenou ľahkého kameniva (napr. Liapor, Pollytag). Niektoré zahraničné trhy (Veľká Británia, Holandsko apod.) disponovali americkou technológiou pre výrobu umelého kameniva zo spečených popolčekov, ktorá je veľmi energeticky náročná a zastaralá, a tak svoje závody zrušili. V súčasnej dobe sa im vyplatí nakupovať kamenivo od spoločnosti Lytag, ktorá túto energeticky náročnú technológiu ďalej prevádzkuje. Tento závod sa nachádza v poľskom Gdaňsku. Ich umelé kamenivo Pollytag je dodávané vo veľkom množstve do západnej Európy, najmä Veľká Británia, Holandsko, apod., kde sa využívajú najmä pre výrobu ľahkých betónových konštrukcií i veľmi významného charakteru a rekonštrukcií historických objektov. [14]

## 5.1 Rozdelenie surovín pre výrobu agloporitu

Podľa fyzikálneho stavu, najmä podľa stupňa hutnosti a podľa obsahu vlhkosti, delíme suroviny pre výrobu agloporitu na tri skupiny. Do prvej skupiny patria suché zrnité alebo kusové látky, ako je škvara apod. Do druhej skupiny patria potom nepevné materiály s prirodzenou alebo zvýšenou vlhkosťou, ako sú uhoľné ílovité kaly, rôzne haldoviny atď. Do **tretej skupiny** patria suché prachovité látky, ako sú predovšetkým **popolčeky**. [9]

Pre úpravu každej skupiny týchto surovín pred ich slinovaním na rošte sa doporučuje odlišný technologický postup. Vysoko disperzné suroviny tretej skupiny stačí iba granulovať. Len pre prípad ich nedostatočnej alebo kolísavej jemnosti je potrebné do výrobnéj linky zaradiť pred granuláciou guľový mlyn. Mletie a naň naväzujúce sbalkovanie volíme niekedy aj u ostatných druhov surovín (kusových a hrubo zrnitých látok). Je to z dôvodu, ak chceme zabezpečiť ich rovnomernejší výpal a tým dosiahnuť lepšiu kvalitu vyrobeného agloporitu. [9]

## 5.2 Podiel spáliteľných látok

Ak neobsahujú suroviny dostatočné množstvo spáliteľných látok potrebných na aglomeráciu, musíme ich umelo pridávať. Naopak u surovín, ktoré obsahujú viac uhoľných látok ako je vhodné, pridávame rôzne íly, hlinu, rôzne hlušiny a iné odpady.

Za **minimálny obsah** uhoľnatých látok sa považuje **5 %**, za **maximálny 12 %**. **Optimum** je udávaný okolo **9 %**. Optimálny obsah uhoľnatých látok je vždy funkciou druhu použitého aglomeračného zariadenia. Inak platí, že čím jemnejšie zrno ma palivo, tým viac môže byť obsah spáliteľných látok zmenšený. Nedostatok paliva v surovinách sa pri agloporite prejaví nedostatočným spečením a nadbytočným obsahom najjemnejších podielov. Naopak ak je obsah spáliteľných látok príliš vysoký, nastane nadmerné spečenie agloporitu, spojovanie jednotlivých zrn v spečence, čo je mimo iného spojené vždy s poklesom výkonu na rošte.

Správny obsah paliva v surovinách a jeho rovnomernosť patria vedľa rovnomernej priedušnosti vstupnej suroviny k hlavným problémom výroby kvalitného agloporitu. [9]

## 5.3 Proces sbalkovania

K surovinám práškovitým alebo pomletým pridávame pri ich sbalkovaní vodu. Prídavok vody u popolčiek predstavuje 20 až 30 %. Tento prídavok slúži nie len ku granulácií suroviny, ale tiež k nepriamej regulácii potreby spáliteľných látok v surovine, ako aj k udržianiu

rovnomernej priedušnosti vrstvy sbalkov podávaných na rošt (nutné pre rovnomernosť prepáľovania a zväčšenie pórovitosti).

Ak sa jemne disperzné alebo mleté suroviny dajú len obtiažne sbalkovať, môžeme k nim pridávať rôzne spojive príklady, ako sú sulfitové výluhy, škrobové alebo kľihovité látky, melasa, suspenzia ílov, rôzne povrchovo aktívne látky a plastifikátory. Tým sa zväčší pevnosť zrn granálií. K príprave sbalkov resp. granálií alebo peliet používame rôzne granulačné zariadenie. Môžu to byť **granulačné bubny**, vo svetom merítku sú potom najčastejšie **sbalkovacie taniere**, u materiálov cestovitej konzistencie to sú **pretlačovacie kolové mlyny**, pričom sa takéto telieska ešte dotatočne v bubne zagul'acujú. [9]

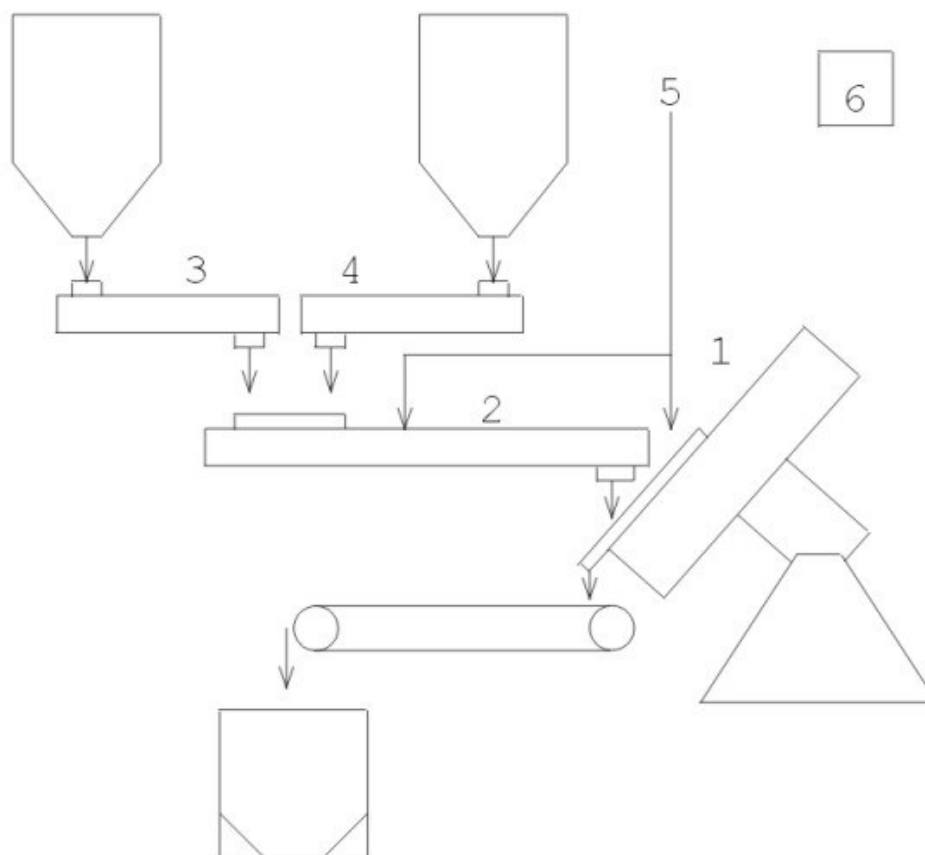
### 5.3.1 Granulačné bubny

Granulačné bubny sú mierne sklonené valce ( $2,5^\circ$  až  $3,5^\circ$ ) s priemerom až 3 m a dĺžke až 7,5 m, ktoré sa otáčajú rýchlosťou 11 až 13 otáčok za minútu. Do vnútra bubnu je zavedený sprchový rozprašovač vody. Surovina na sbalkovanie sa privádza na vyššom konci bubna, kde sa z nej vlhčením a stálym prevaľovaním vytvárajú telieska guľatého tvaru vhodnej veľkosti, ktoré postupujú k nižšie položenému konci valca, kde už spevnené sbalky vypadávajú. Vytváranie sbalkov sa vysvetľuje jednak mechanickým postupným nabaľovaním jednotlivých vrstvičiek zvlhčenej suroviny, jednak základným zákonmi o povrchovom napätí. Potrebné parametre pre sbalkovanie sa však obyčajne pre danú surovinu určuje čisto technologicky. [9]

### 5.3.2 Granulačný tanier

Omnoho výhodnejšie ako na granulačnom bubne sa sbalky vytvárajú na granulačnom tanieri. Mierne predvlhčená surovina (tiež preto, aby sa pri sbalkovaní neprašila) sa privádza šnekom alebo trasným žľabom na tzv. granulačný tanier, čo je plochá misa so zdvihnutým okrajom otáčajúci sa okolo šikmej osy. Jej sklon je do istej miery meniteľný. Surovinový prášok je privádzaný na tú časť plochy taniera, ktorá sa otáča smerom hore. Voda sa na granulačnom tanieri privádza jemnou kvapôčkovou sprchou na vhodnom mieste, zvyčajne blízko najvyššie položeného miesta taniera. Kvapky vody vytvárajú v popolčeku malé guľôčky, ktorých tiaž pôsobí opačne ako smer otáčania taniera, takže materiál sa uvádza podobne ako v granulačnom bubne do valivého pohybu, a to tak dlho, až vzniknuté guľičky narastú do určitej veľkosti, nahromadia sa pri zdvihnutom okraji taniera a nakoniec z neho vypadnú. Hlavnou výhodou granulačných tanierov je ľahká úprava podľa požadovanej suroviny, veľkosť granálií, dobrá čistiteľnosť a jednoduchá kontrola. [21]

Zariadenia peletizačnej linky sú ukotvené do ocelevej konštrukcie a spracovávané materiály sú uložené v zásobníkoch. Príklad technologickej schémy je znázornený na obrázku č. 4. [21]



Obrázok č. 4 – Technologická schéma zariadení pri výrobe surových granúl [21]

(1 – peletizačná misa, 2 – dvojvretenový miešací dopravník, 3 – dávkovací dopravník s odpadmi, 4 – dávkovací dopravník s prísadami, 5 – dávkovanie zámesovej vody, 6 – elektrorozvody )

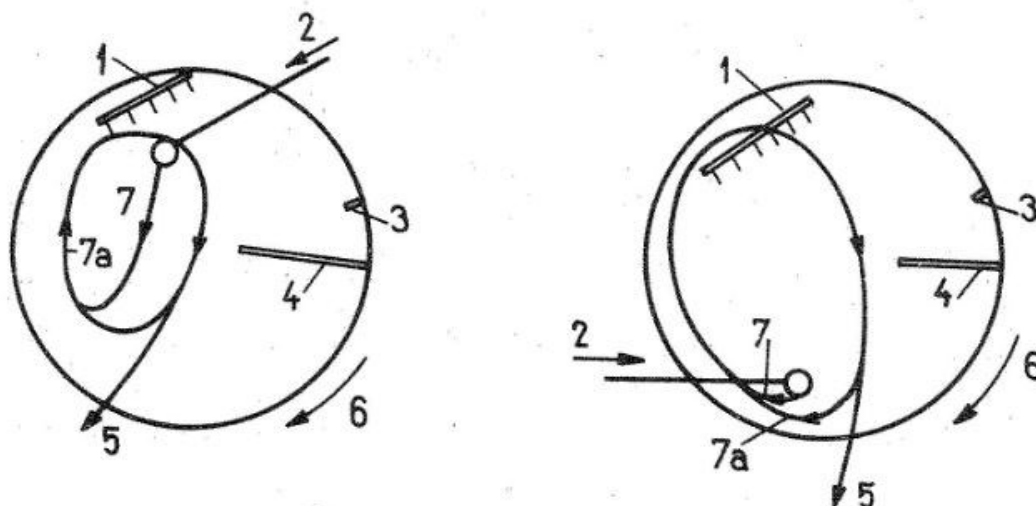
Priemer granulačných tanierov býva väčšia ako 1,5 m, avšak dosahuje u výkonných zariadení i cez 4 m. Čím je sklon granulačného taniera väčší, tým menšie granálie vznikajú a opačne. Pre výrobu popolčekových sbalkov s priemerom 10 až 20 mm činí tento sklon asi 45°. Ďalším činiteľom ovplyvňujúcim veľkosť granálií je rýchlosť otáčania. Čím vyšší je počet otáčok, tým menšia je možnosť nabaľovania materiálu a preto vznikajú sbalky menšie, a opačne. Otáčky taniera bývajú 12 až 18 otáčok za minútu podľa veľkosti taniera. Veľkosť sbalkov je možné meniť i zmenou ich pobytu v tanieri, čo je možné regulovať veľkosťou



priemeru taniera s výškou jeho okraja. Čím väčší je priemer taniera a čím vyšší je jeho okraj, tým väčšie sbalky sa vytvárajú. [9]

K regulácii veľkosti granálií je treba ešte uviesť, že čím viac materiálu sa na granulačnom tanieri privádza, tým menšie sbalky sa tvoria a opačne. Ak sa privádza voda vo väčších kvapkách, vznikajú väčšie granálie a naopak menšie, ak sa voda jemne rozprašuje. Prívod suroviny a vody musí byť zladený a trvalo dodržiavaný. Suché sbalky majú nízku pevnosť, príliš vlhké granálie sú mäkké, ľahko sa deformujú a lepia sa. Veľkosť sbalkov pri sbalkovacom procese je možné ovplyvniť i umiestnením prívodu suroviny a vody na granulačnom tanieri, ako je to znázornené na obrázku č. 5. [9]

Na kvalitu surových sbalkov závisí hospodárnosť a vôbec chod nasledujúceho spekania. Preto musia byť odolné (pevné) proti mechanickému namáhaniu v peci, stále (nerozpadavé) proti teplotnému nárazu v peci a rovnomerné vo všetkých vlastnostiach. [9]



Obrázok č. 5 Umiestnenie prívodu vody a popolčeku pri výrobe surových granúl[9]

(1 – prívod vody, 2 – prívod popolčeku, 3 – čistič okraja taniera, 4 – čistič dna taniera, 5 – prepád granúl, 6 – smer otáčania granulačného taniera, 7, 7a – sme pohybu granúl)

#### 5.4 Sušenie a výpal agloporitu

Pri výrobe agloporitu je potrebné vytvorené sbalky rýchlo vysušiť a vypáliť, pričom oba procesy je možné výhodne spojiť pri použití jedného agregátu. Pára pritom musí zo sbalkov uniknúť tak, aby ich nijak neporušila. Pre výpal je potrebné dodržiavať: rovnomernú granulometriu, priedušnosť vsázky, rovnomerný obsah množstva pridávaných uhoľnatých

horľavých látok. Na všetkých týchto okolnostiach, ako i na veľkosti granálie, teplote a dobe výpalu závisí potom kvalita vypálených sbalkov.

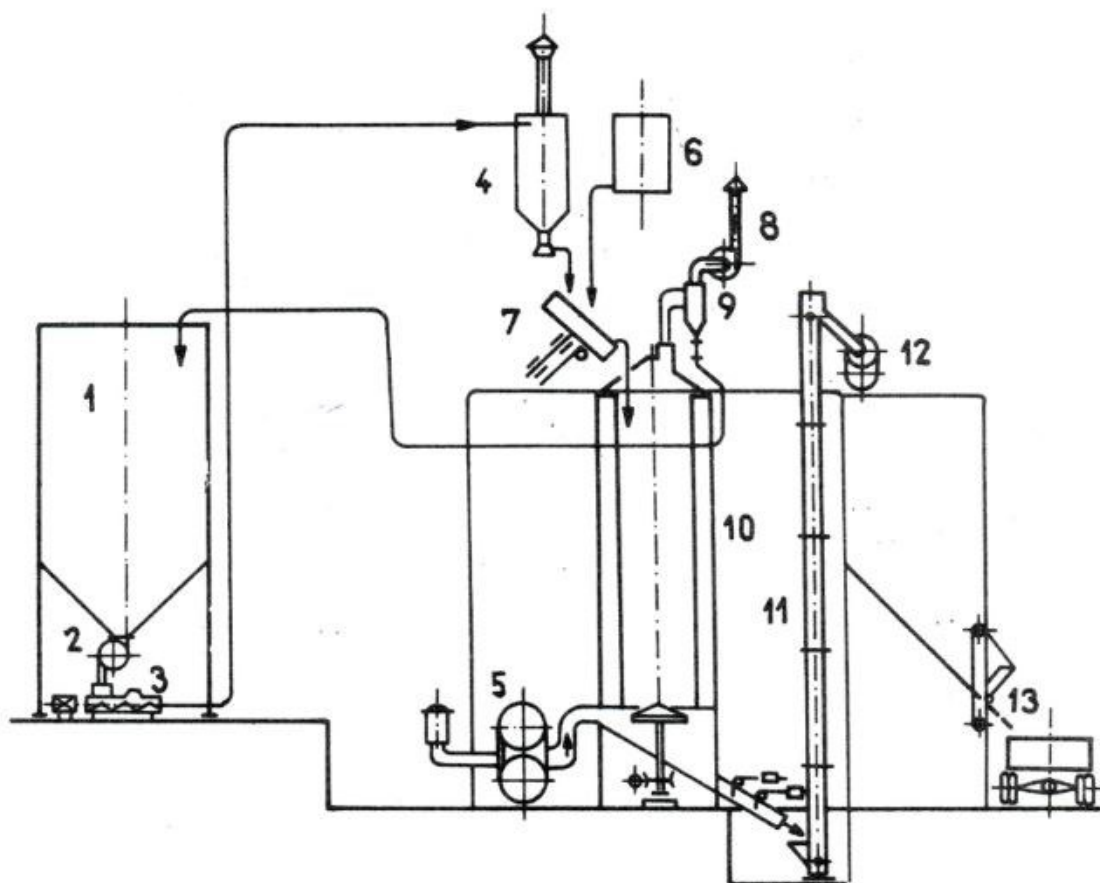
Pre výpal sbalkov sa používa predovšetkým rôznych typov aglomeračných roštov, ale tiež šachtové a rotačne pece alebo i niektoré špeciálne vypalovacie agregáty. Uprednostňované sú zariadenia, pri ktorých sbalky po zapálení prehorievajú samy vďaka v nich obsiahnutom nedopale (napr. z popolčeka, škvary apod.) . [9]

#### **5.4.1 Šachtové pece**

Najstarší spôsob pre spekanie sbalkov je slinovanie v šachtovej peci, ktorý bol zavedený v roku 1957 v elektrárni Battersen pri Londýne, a to pod názvom Terlit. Odtiaľ sa tento spôsob rozšíril do Holandska (fa Geldens). Šachtové pece sú z hľadiska tepelného veľmi ekonomické, avšak vyžadujú veľmi rovnomernú surovinu so širokým teplotným pásmom pre vhodný výpal.

Sušenie sbalkov pred výpalom prebieha priamo v hornej časti šachtovej pece. V dolnej časti pece sa sbalky protiprúdiacim vzduchom ochladzujú, roštom odlamujú a postupne otváraním dvojitého uzáverom z pece vypadávajú. Celý postup vypaľovania sbalkov trvá asi desať hodín, pričom doba pobytu sbalkov pri najvyššej teplote cca 1 300 °C činí asi dvadsať minút. Vypálené sbalky sa potom ešte triedia, pretože väčšieho drvenia nie je spravidla potrebné. [9]

Celá linka na popolčekový agloporit spečený v šachtovej peci je znázornená na obrázku č. 6.



Obrázok č. 6 – Technologická schéma výroby popolčekového agloporitu v šachtovej peci – systém Terlit [9]

(1 – zásobník na popolček, 2 – podavač, 3 – pneumatická doprava, 4 – odlučovač, 5 – dúchadlo, 6 – zásobník na vodu, 7 – granulačný tanier, 8 – exhaustor, 9 – odlučovač, 10 – šachtová pec, 11 – elevátor, 12 – vibračný triedič, 13 – zásobníky a expedícia)

#### 5.4.2 Aglomeračné rošty

Najčastejším spôsobom vypaľovania agloporitu je spekanie na aglomeračných roštoch. Aglomeračné rošty sú pohyblivé pásy o šírke asi 1 m a dĺžke spravidla okolo 20 m, na ktorých sbalky po zapálení zhora ďalej smerom dolu prehoreievajú a spekajú sa na úkor paliva v nich obsiahnutom. Potrebný vzduch sa pritom slínujúcou vrstvou, ktorá sa neustále horizontálne pohybuje, presieva pomocou exhaustorov smerom zhora nadol.

Aglomeračný pás a jeho súčasti sú zo žiaruvzdornej oceli, čo je jednou z príčin ich vysokej ceny. Pás je chránený pred priami pôsobením najvyššej teploty tzv. roštovinou, čo je

vlastne násyp žiaruvzdorného materiálu (2 až 3 cm). Vrstva násypu sbalkov býva 20 až 30 cm. Hneď za dávkovačom sbalkov v smere pohybu roštu je umiestnené zapal'ovacie zariadenie, tzv. zapal'ovacia hlava, čo sú horáky na plynné alebo kvapalné palivo priložené z hornej strany násypu. Teplota na zapal'ovacej hlave je 1 200 až 1 300 °C. [9]

Zo spodnej strany roštu je v mieste oproti zapal'ovacej hlave prvá odsávacia komora (s podtlakom 13 kPa) čo umožňuje zapálenie vrchnej vrstvy násypu. Po celej zbývajúcej časti roštu sú umiestnené zo spodnej strany ďalšie odsávacie komory s regulovateľným podtlakom (cca 65 kPa). Tým sa privádza k sbalkom vzduch vo dostatočnom prebytku. Žiarové pásmo v spekajúcej sa vrstve sbalkov sa tým postupne premiestňuje do spodnejších vrstiev, až v určitej vzdialenosti od konca roštu dosiahne maximálnu teplotu (1 100 až 1 250 °C, vrstvy roštoviny). Tým slinovací proces končí. Posledná odsávacia komora slinovacieho roštu slúži k odsávaniu vzduchu, ktorý slúži ku chladeniu. Spečenec vypadávajúci z konca pásu je potrebné pomaly chladiť a potom drviť a triediť na potrebné frakcie. Celá výrobná linka na popolčekový agloporit spečený na aglomeračnom rošte je znázornená na obrázku č. 7. [9]

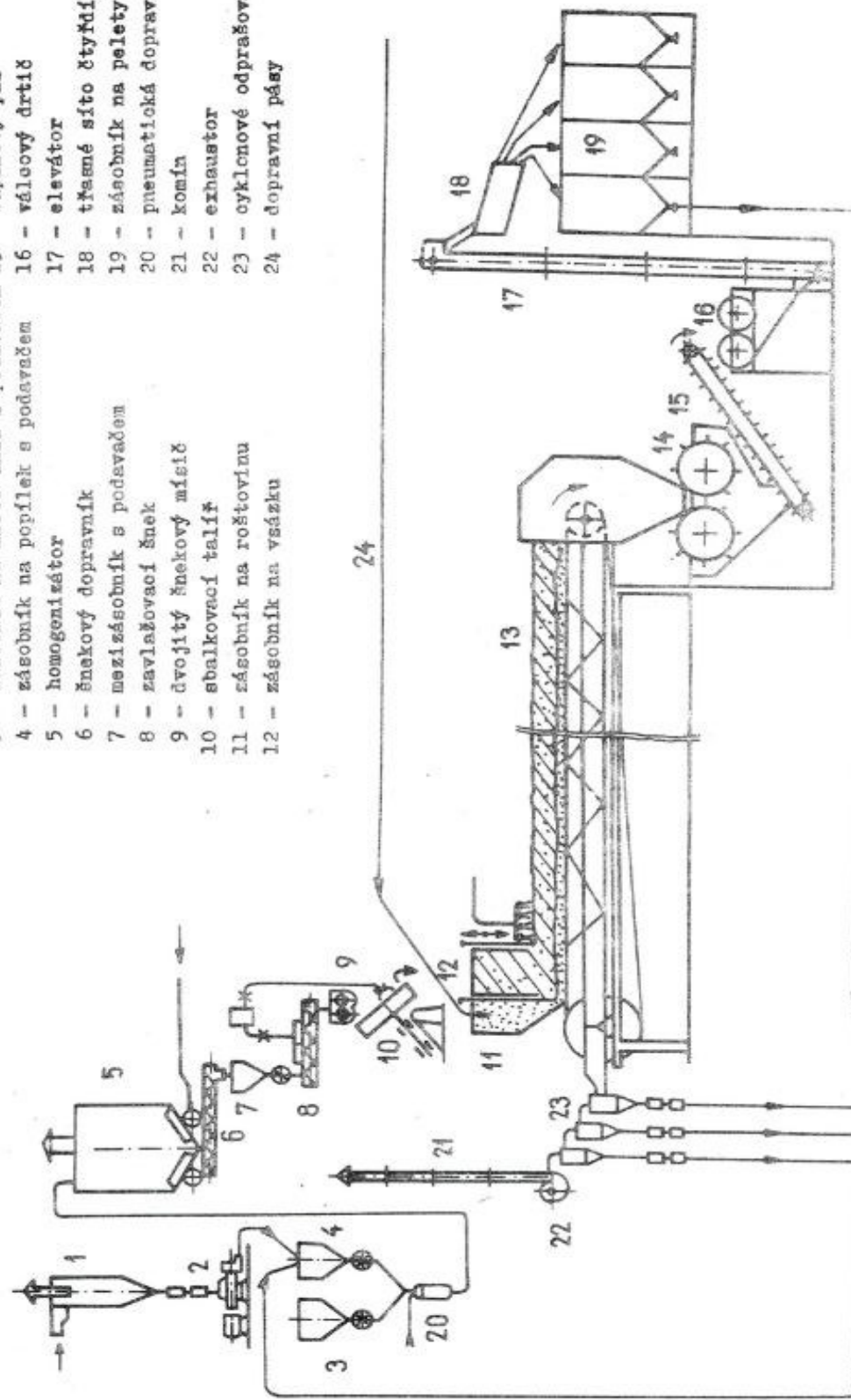
Čo sa týka spaľovacieho pásma na rošte, postupuje sa v smere presievaného vzduchu. Schematicky je postup prepaľovania a tým i slínovania znázornený na obrázku č. 8. Postup slinovacieho pásma po dĺžke aglomeračného roštu je znázornený na obrázku č. 9. Postup slinovacieho pásma vo vertikálnom smere činí 1 až 3 cm za minútu (spravidla 2,0 až 2,5 cm). Horizontálna rýchlosť pásu je riadená vo väčšom rozsahu a pohybuje sa od 0,5 až 3 m za minútu. Výška vrstvy určená k vypáleniu je potom 15 až 30 cm., zriedkavo 40 cm. [9]

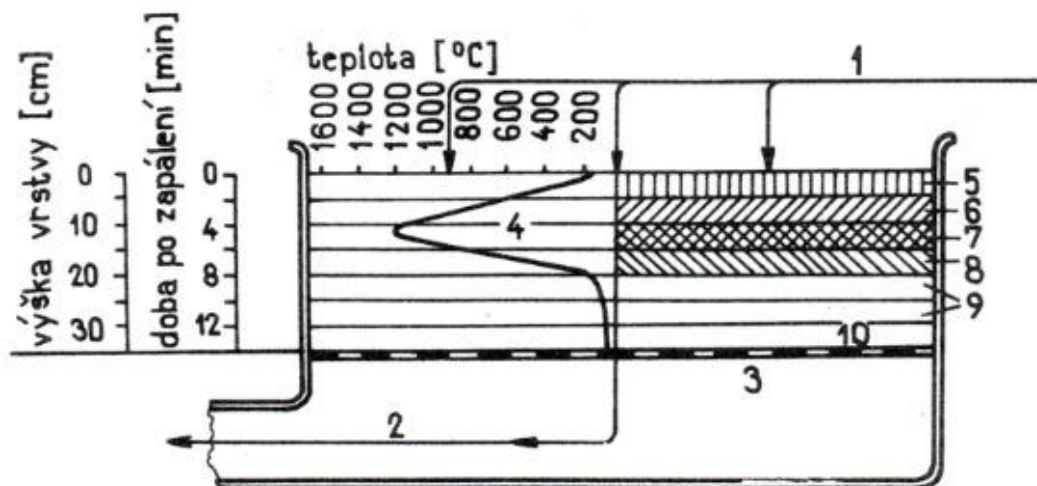
Výhodou používania slinovacích aglomeračných roštov je ľahká kontrola a ovládateľnosť aglomeračného pochodu, možnosť rýchleho zastavenia i jeho zahájenia. Vďaka možnosti manipulácie s pásom je možné vyrovnávať i určité kolísanie obsahu spáliteľných látok v surovine. Ďalej je uľahčené chladenie vypálených sbalkov, a tým i manipulácia s nimi pri ďalšom spracovaní.

Je treba ale poukázať na negatíva pri výrobe. Nutná, príliš veľká priedušnosť násypu vedie k nedostatočnému využívaniu spaľovacieho vzduchu. Prebytok vzduchu znižuje tiež teplotu v odťahových kanáloch, čo môže viesť k zrážaniu vlhkostí a korózií kovových častí odťahových zariadení. Nevýhodou sú tiež veľké prevádzkové náklady na exhaustory a vysoká cena roštu. [9]

Obrázok č. 7 - Výrobná linka na popolčekový aglororit spečený na aglomeráčnom rošte [9]

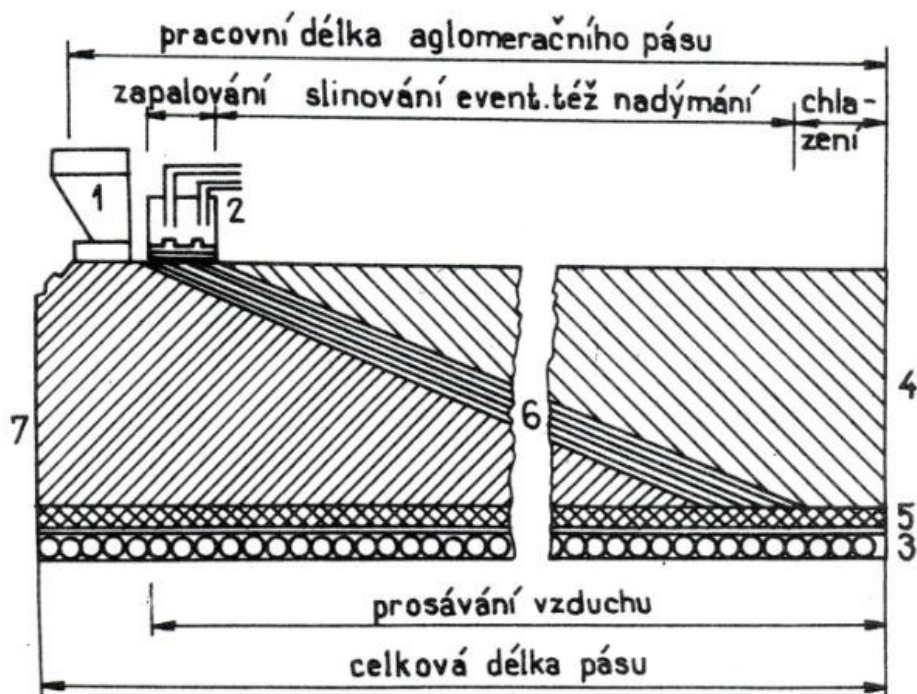
- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1 - odlučovač popílku                  | 13 - aglomeráčny pás      |
| 2 - pneumatická doprava                | 14. - Seltnerův jeř.drtič |
| 3 - zásobník na mleté uhlí s podavačem | 15 - šupinový pás         |
| 4 - zásobník na popílek s podavačem    | 16 - válcový drtič        |
| 5 - homogenizátor                      | 17 - elevátor             |
| 6 - šnekový dopravník                  | 18 - třasné síto žvýkálné |
| 7 - mezizásobník s podavačem           | 19 - zásobník na pelety   |
| 8 - zavlažovací šnek                   | 20 - pneumatická doprava  |
| 9 - dvojitý šnekový mísič              | 21 - komín                |
| 10 - sbalkovací talíř                  | 22 - exhaustor            |
| 11 - zásobník na roštovinu             | 23 - cyklové odprašovače  |
| 12 - zásobník na vsázku                | 24 - dopravní pásy        |





Obrázok č. 8 – Rozmiestnenie teplôt pri výpale agloporitu na aglomeračnom rošte [9]

(1 – studený vzduch, 2 – dymové plyny, 3 – roštnice, 4 – priebeh teplôt v násype cca 5 minút po zapálení, 5 – vychladnutý agloporit, 6 – chladenie agloporitu a predohrievanie vzduchu, 7 – slinovacie pásmo s najvyššou teplotou, 8 – predohrievanie vsádzky horkým dymovými plynmi, 9 – ešte chladná vsádzka, 10 – roštovina)



Obrázok č. 9 – Schematické znázornenie postupu slinovacieho pásma na aglomeračnom rošte

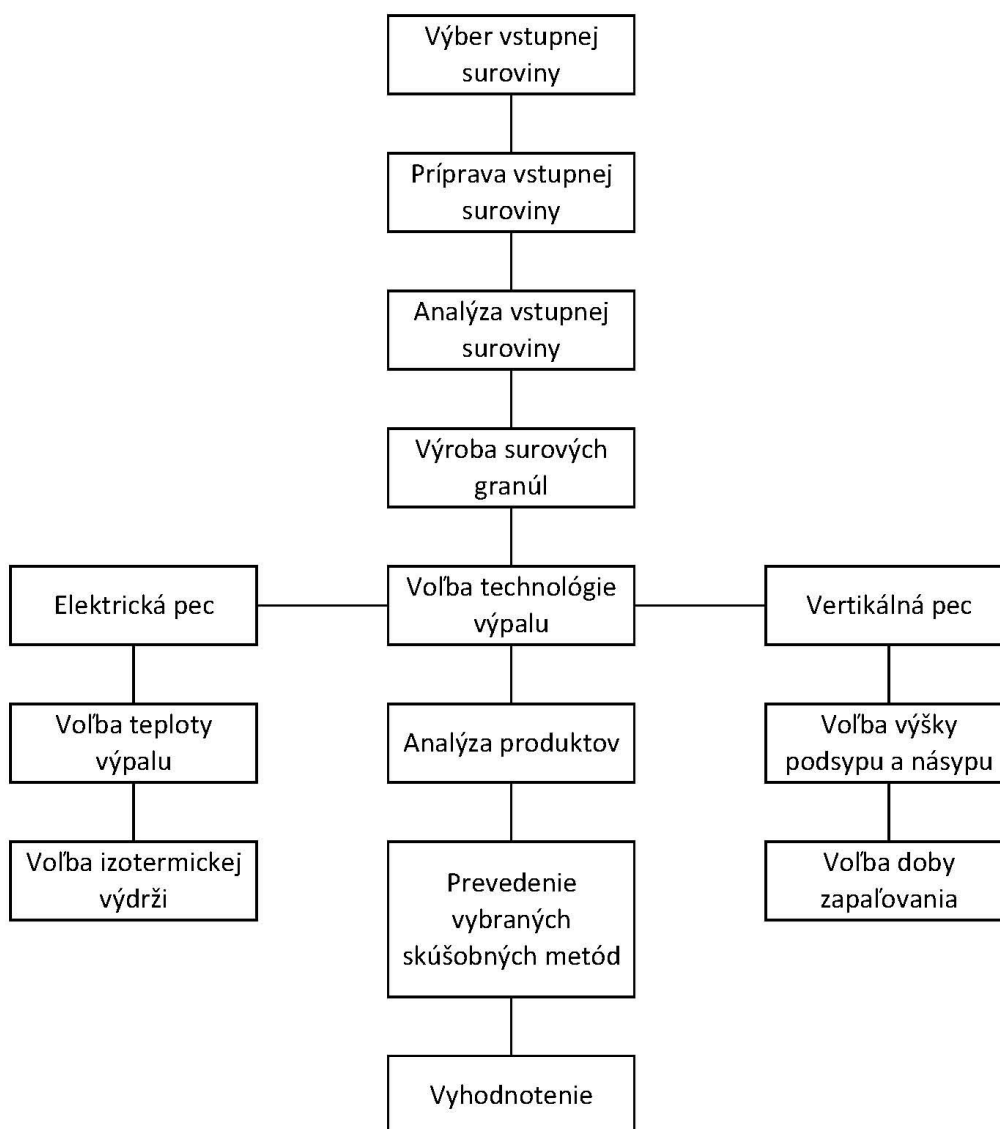
(1 – rozprestieranie vsádzky, 2 – zapal'ovacia hlava, 3 – roštnica, 4 – spečený agloporit, 5 – roštovina, 6 – slinovacie pásmo, 7 – vsádzka surových sbalkov) [9]

## 6. Cieľ práce

Cieľom tejto práce je preskúmanie možnosti výroby pórovitého kameniva z odpadu vznikajúceho pri spaľovaní biomasy. Na jeho výrobu budú použité tri vstupné suroviny, či už ako samotné, alebo ich vhodnou kombináciou. V náväznosti na predošlú diplomovú prácu [23] je jedným zo základných bodov snaha eliminovať výskyt výkvetov, ktoré sa vytvárali pri použití zmieneného odpadu v cementovom i necementovom betóne.

V prvej časti budú uvedené jednotlivé technologické postupy pri výrobe kameniva od prípravy vstupných surovín (drvenie, mletie apod.) cez nabaľovanie a vznik jednotlivých produktov, až po samotný výpal. V ďalšej časti je cieľom vytvorené produkty podmieniť konkrétnym skúškam, ktoré sú charakteristické pre komerčné výrobky a porovnávať jednotlivé vlastnosti s nimi.

## 7. Metodika





## **8. Popis jednotlivých procesov pri laboratórnej výrobe na FAST**

Celý proces výroby od drvenia resp. mletia vstupnej suroviny až po samotný výpal prebiehal v laboratóriu stavebných hmôt na FAST. Nabaľovanie vstupných surovín bolo vykonané na VŠB – TUO fakulta hornicko-geologická, oddelenie úpravy nerastných surovín.

Skelný nápek, ktorý tvorí hlavnú surovinu v tomto procese výroby nesie zo sebou označenie N\_2013. Toto označenie predstavuje nápek získaný zo spaľovania biomasy v Velkém Karlově v roku 2013 (viac kapitola 3.2) Vedľajšou vstupnou surovinou bol elektrárenský popolček (Dětmárovice) a popolček získaný zo spaľovne biomasy Rajec (viac kapitola 3.3), ktoré nesie označenie Bineko. Ako „manuál“ pri nabaľovaní jednotlivých produktov slúžila výroba agloporitu, ktorá je podrobne opísaná v kapitole 5.

### **8.1 Príprava vstupných surovín**

Ako je uvedené v kapitole 5.1 (Rozdelenie surovín pre výrobu agloporitu) delíme suroviny pre výrobu agloporitu podľa fyzikálneho stavu do troch skupín. V našom prípade chceme, aby náš vstupný materiál pre výrobu, zapadal do tretej skupiny čiže suché prachovité látky, ako sú predovšetkým popolčeky.

Keďže sklený nápek bol získaný vo forme krehkých, ale veľmi tvrdých kusov väčších rozmerov, musela celému procesu výroby predchádzať príprava tohto materiálu v podobe jeho drvenia na malú frakciu a následného mletia.

Pomocou laboratórneho čeľuťového drviča (Obrázok č. 10) boli väčšie frakcie skelného nápeku podrvené na menšie zrná. Následné boli tieto menšie zrná pomocou planetového mlyna (Obrázok č. 11) pomleté na jemné častice (približne ako popolček alebo cement). Pomocou planetového mlyna bola namletá aj vedľajšia vstupná surovina Bineko. Hodnoty merného povrchu u všetkých mletých surovín sa pohybovali v rozmedzí 450 – 550 m<sup>2</sup>/kg.



*Obrázok č. 10 – Čelustový drvič*



*Obrázok č. 11 – Planétový mlyn*

## 8.2 Sbalkovanie na peletizačnej mise

Táto kapitola podrobne opisuje proces nabaľovania a vychádza z kapitoly 5.3.2 (Granulačný tanier), kde je uvedený podrobný opis granulačného taniera ako aj mnoho faktorov z procesu výroby, ktoré vplývajú prevažne na veľkosť vzniknutých sbalkov. Pri výrobe sbalkov bol použitý laboratórny granulačný tanier na VŠB-TUO fakulta hornicko-geologická, oddelenie úpravy nerastných surovín (viac Obrázok č. 12). To ovplyvňovalo radu faktorov, ktoré nebolo možné pri technologickom postupe dodržať.

Keďže sa jedná o laboratórny granulačný tanier jeho priemer je oproti granulačným tanierom využívaným vo veľkovýrobe podstatne menší. Jeho veľkosť je približne 50 cm, kdežto u povedzme priemyselných granulačných tanierov je tento priemer minimálne 1,5 m (u výkonnejších i cez 4 m). To je jeden z faktorov, ktorý môže vplývať na veľkosť vzniknutých nabaľovaných granúl ako je uvedené v kapitole 5.3.2, ktorá hovorí že čím väčší priemer taniera a vyšší okraj, tým väčšie „sbalky“ vznikajú.



Obrázok č. 12 – Laboratórny granulačný tanier

Pri výrobe sbalkov bol použitý namletý skelný nápek N\_2013 a elektrárenský popolček (ďalej len EP). Kombináciou týchto dvoch surovín boli vytvorené štyri druhy vzoriek. Na

obrázku č. 13 je znázornený smer otáčania, miesto prívodu vody a suroviny, a rovnako je viditeľný aj čistič okraja a dna taniera.



Obrázok č. 13 – Laboratórny granulačný tanier pri výrobe

Tabuľka č. 6 – Popis a označenie vyrobených vzoriek

Popis vyrobených vzoriek	Označovanie vyrobených vzoriek
Elektrárenský popolček – Dětmarovice	EP
Odpad z biomasy Velké Karlovo	N_2013
Odpad z biomasy Velké Karlovo a elektrárensky popolček Dětmarovice v pomere 1:1	N_2013 + EP
Odpad z biomasy Velke Karlovo obalený v elektrárenskom popolčeku Dětmarovice	N_2013_v_EP
Odpad z Biomasy Rajec a elektrárenský popolček Dětmarovoce v pomere 1:1	Bineko + EP

Skôr ako nastal samotný proces výroby bol nastavený sklon na peletizačnej míse približne na 55 °. S reguláciou otáčok už nebolo možné manipulovať, pretože samotný prístroj už túto možnosť neposkytoval. Počet otáčok za minútu na tomto prístroji bol stanovený na 15 až 16.



Ako prvá vzorka bol zvolený **EP** a to z dôvodu sledovania samotného procesu sbalkovania, za účelom nabratia „prvotných“ skúsenosti. Po zapnutí granulačného taniera bolo do neho vložené určité množstvo EP. Kontinuálny prísun vody do granulačného taniera bol vytvorený pomocou plastovej fľaše s perforovaným vrchnákom. Spočiatku sa na dno taniera nalepovala mokrá surovina ako je badateľné aj na obrázku č. 13. To bolo spôsobené tým, že prúd vody aplikovaný do taniera nie vždy dopadal iba na sbalkovanú surovinu ale aj na dno taniera. Na tanieri sa potom vytvárali mokre miesta na ktoré sa sbalkovaná surovina nalepovala. Z dôvodu nedostatočného doliehania dreveného čističa dna a okraja taniera, bola plocha taniera čistená manuálne (za stáleho chodu) pomocou plastovej lopatky.

Na obrázku č. 14 je znázornená oblasť výskytu nabaľovanej suroviny s vytvorenými sbalkami. Táto oblasť je daná smerom otáčania granulačného taniera. Túto oblasť by som označil za ideálnu oblasť výskytu suroviny počas procesu sbalkovania. Pokiaľ sa v nej surovina nachádzala a na dne taniera sa nevytvárali mokre miesta, surovina vhodnou kombináciou prívodu suroviny a vody mala tendenciu nabaľovať sa.



*Obrázok č. 14 – Vyznačenie tzv. ideálnej oblasti*

Po tejto „skúsenosti“ bola plastová lopatka, ktorá nahradzovala spomínané nedostatočné doliehanie čističa dna a okraja taniera, premiestnená na hranicu ideálnej oblasti (viď obrázok č. 15) v snahe „dopomôcť“ nabaľovanej surovine čo najdlhšieho výskytu v tejto oblasti.



*Obrázok č. 15 – Znázornenie prikladania pomocnej plastovej lopatky*

Priloženie tejto lopatky na hranicu ideálnej oblasti nemalo veľký vplyv pri nabaľovaní suroviny. Ako bolo preukázané surovina sa začala nabaľovať v čase keď mala vhodnú konzistenciu pri ktorej sa ani len nedotýkala priloženej pomocnej lopatky. Zásluhou dopadajúcej vody na suroviny sa vytvárali na vrchnej časti ideálnej oblasti malé sbalky, ktoré vlastnou tiažou padali postupne do dolnej časti pričom postupne nabaľovali na seba surovinu.

Z toho vyplýva, že dosiahnutie ideálnej konzistencie vďaka ktorej sa nabaľovaná surovina nachádza v ideálnej oblasti, nie je závislé na umiestnení čističa okraja a dna taniera. Tento fakt potvrdzuje aj obrázok č.2 v kapitole 5.3.2 na ktorom je znázornený pohľad na granulačný tanier. Umiestnenie čističa okraja a dna taniera vzhľadom na smer otáčania to potvrdzuje.

**Najlepšiu schopnosť nabaľovať sa** zo všetkých vytvorených vzoriek preukazoval EP. Naopak vyznačoval sa zase najmenšou mechanickou odolnosťou, ktorá sa prejavila pri ukladaní čerstvo nabalených vzoriek na prepravu. Surové sbalky musia byť odolné proti mechanickému namáhaniu v peci. Veľkosť vytvorených surových sbalkov bola pomerne rovnaká.

**Najhoršiu schopnosť nabaľovať sa** prejavoval **samotný nápek**. Pri procese výroby často dochádzalo k vytváraniu veľkých sbalkov nerovnomerného tvaru. Táto surovina mala ako keby väčšiu schopnosť pohlcovať vodu a tak bola náchylnejšia na nalepovanie sa o dno alebo okraj taniera. Na obrázku č. 16 sú znázornené surové sbalky zo samotného nápeku. Obtiažne nabaľovanie pri ich výrobe, sa prejavilo aj vytvorením rôznych veľkosti jednotlivých

zfn s pomerne veľkým rozdielom. Zo všetkých vzoriek bol samotný nápek najmenej kontrolovateľný.



*Obrázok č. 16 – Surové nabalené granule zo samotného nápeku N\_2013*

Ďalšou nabaľovanou surovinou bol **nápek s popolčekom**. Nápek bol zmiešaný s popolčekom ešte pred samotným nabaľovaním. Ako pri predošliých vzoriek bolo potrebné zabezpečiť za pomoci viacerých faktorov, takú konzistenciu suroviny aby sa bola schopná sama držať v tzv. ideálnej oblasti a postupne sa nabaľovať. Rovnakým spôsobom prebiehalo nabaľovanie popolčeka **Bineko** a **Detmarovice** (Bineko + EP). Tieto dve suroviny boli pred samotným nabaľovaním zmiešané dohromady v pomere 1:1.

U vzorky **N\_v\_EP** bol najskôr nabaľovaný samotný nápek a keď bola dosiahnutá dostatočná veľkosť sbalkov z nápeku, bol postupne pridávaný na granulačný tanier iba EP. Ten sa postupne nabaľoval na sbalky vytvorené z nápeku, a vytvoril „obal“ na ich povrchu (viď viac obrázok č. 17).





*Obrázok č. 17 – Surové nabalené granule vzorky N\_v\_EP*

### 8.3 Sušenie a výpal vzoriek

Sušenie vytvorených vzoriek prebiehalo v laboratórnej sušiarni pri teplote  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  do dosiahnutia konštantnej hmotnosti. Strata sušením u všetkých vzoriek bola v rozmedzí od 6 do 11 %.

Výpal vzoriek, kde bola ako hlavná surovina použitý N\_2013 prebehol na elektrickej peci v laboratóriu stavebných hmôt na FAST. (vid' obrázok č. 18). Technologický proces výpalu bol takmer u všetkých vzoriek rovnaký. V tabuľke č. 5 sú uvedené všetky druhy vzoriek, ich teploty výpalu, čas dosiahnutia požadovanej teploty, izotermická výdrž a dĺžka chladenia. **Teploty výpalu** sa pohybujú v rozmedzí od 800 do 1 100 °C a na nich je závislý čas dosiahnutia požadovanej teploty. Čím menej stupňov tým pochopiteľne kratší čas dosiahnutia požadovanej teploty. **Izotermická výdrž** na danej maximálnej teplote bola stanovená na jednu hodinu a v jedinom prípade pre porovnanie na 10 minút.





Obrázok č. 18 – Elektrická pec v laboratórium na FAST

Tabuľka č. 7 – Vypálené vzorky a ich proces výroby

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Čas dosiahnutia požadovanej teploty [minúty]	Izotermická výdrž [minúty]	Dĺžka chladenia
N_2013	800	240	10	Pomalé*
	800		60	
	850	270		
	900	300		
	1 000	360		
N_2013_v_EP	1 000	360		
N_2013+EP	900	300		
	1 000	360		
Bineko + EP	1 000			
EP**	900	300		

*Poznámka \* - Dĺžka chladenia prebiehala približne u všetkých vzoriek rovnako. Za **pomalé** je označovaná dĺžka chladenia približne 12 hodín. Približne po 4 hodinách po uplynutí izotermickej výdrži v peci, bola pec pootvorená až do úplného vychladnutia (cca 8 hodín)*

### 8.3.1 Výpal vzorky N\_2013

Samotný nápek N\_2013 bol vypálený pri štyroch rôznych teplotách. Na obrázku č. 19 sú znázornené jednotlivé zrná po výpale pri **800 °C** a pomalom chladení (viac kapitola 8.3). Je to jediná teplota výpalu samotnej sbalkovanej suroviny N\_2013, pri ktorej (u niektorých vzoriek) nedošlo k spečeniu jednotlivých zrn. Tieto zrná po výpale prejavovali už na dotyk pomerne vysokú pevnosť a odolnosť pri snahe o mechanické porušenie. Stanoveniu jeho fyzikálno-mechanických vlastností sa budeme venovať v ďalších kapitolách. Na pohľad sa vytvorené produkty vyznačovali sklovitým povrchom.

V neskorších fázach opätovnej výroby rovnakej vzorky pri rovnakej teplote (800 °C) došlo k spečeniu vypaľovaných sbalkov (viď obrázok č. 20). Toto spečenie je možné vysvetliť jej príliš veľkou vrstvou vkladanej do peci. Táto veľká vrstva mohla mať počas procesu výpalu väčšiu schopnosť akumulovať teplo medzi jednotlivými zrnami a tým mohlo dochádzať k ich spekaniu. Ďalšou z možností je, že v nádobe vyskytujúci sa jemný podiel vypaľovanej suroviny, sa nachádzal na kontakte medzi jednotlivými zrnami a počas výpalu došlo k spečeniu tejto vrstvy.



*Obrázok č. 19 – N\_2013 pri teplote výpalu 800 °C a pomalom chladení*



*Obrázok č. 20 – Spečenie zrn kameniva pri väčšej vrstve vsádzky vkladanej do pece*

Pri vzorkách vypálených pri teplote **850 °C** (obrázok č. 21) a **900 °C** (obrázok. č. 22) došlo k spečeniu jednotlivých zrn. Vzhľadovo sa podobali vzorkám vypálených pri teplote 800 °C.



*Obrázok č. 21 – N\_2013 pri teplote výpalu 850 °C a pomalom chladení*





*Obrázok č. 22 – N<sub>2013</sub> pri teplote výpalu 900 °C a pomalom chladení*

Diametrálne odlišné chovanie prejavoval tento nápek pri teplote **1 000 °C** (obrázok č. 23). Pri tejto teplote došlo k úplnému spečeniu nápeku. Vzorka pri tejto teplote výpalu vykazuje vplyvom spečenia vysoko poréznu a sklovitú štruktúru.



*Obrázok č. 23 – N<sub>2013</sub> pri teplote výpalu 1 000 °C a pomalom chladení*

### 8.3.2 Výpal vzorky N\_2013\_v\_EP

Ako je uvedené v tabuľke č. 5 (kapitola 8.3) teplota výpalu u vzorky N\_2013\_v\_EP bola zvolená na 900 a 1 000 °C, izotermická výdrž na jednu hodinu a dĺžka chladenia pomalá. V porovnaní so vzorkou N\_2013 vypaľovanej pri rovnakej teplote je možné na obrázku č. 24 vidieť, že popolček EP vytvára akúsi ochrannú vrstvu pred spečením samotného nápeku N\_2013. V miestach kde táto vrstva nebola dostatočná alebo bola porušená sa spečený nápek N\_2013 dostal na povrch. V štruktúre sa vytvorili pomerne veľké a sklovité póry, vzhľadovo podobajúce sa výpalu samotnej vzorky N\_2013 pri 1 000 °C.



*Obrázok č. 24 – Vzorka N\_2013\_v\_EP po výpale pri teplote 1 000 °C*

### 8.3.3 Výpal vzorky N\_2013+EP

Výpal prebiehal pri teplote 900 a 1 000 °C. Vzorky sú znázornené na obrázku č. 25. Po výpale neprejavovali tendenciu spekať sa a ich štruktúra je pomerne rovnomerná pevná.



*Obrázok č. 25 – Vzorka N\_2013+EP po výpale pri teplote 1 000 °C*

### 8.3.4 Výpal vzorky Bineko + EP

Výpal vzorky Bineko + EP prebiehal pri teplote 1 000 °C, izotermická výdrž na jednu hodinu a dĺžka chladenia pomalá (obrázok č. 26). Vzorky preukazovali po výpale pomerne dobrú mechanickú odolnosť. Nositeľom pevnosti vytvorených produktov je EP, Bineko ich skôr znižuje. Táto vzorka bola vypálená aj pri teplote 1 100 °C (ostatné podmienky rovnaké), jej výsledky boli o niečo kvalitnejšie ale zrejme opäť zásluhou EP.





*Obrázok č. 26 – Bineko + EP v pomere 1:1 pri teplote výpalu 1 000 °C*

Samotná vzorka Bineko bola podmienená teplotám výpalu 800, 1 000 a 1 100 °C. Pri teplote 800 °C prejavovala vzorka štruktúru podobnú pred výpalom a bolo ju možné podrviť v ruke. Teplota 1 000 °C prejavovala veľmi slabú odolnosť. Na obrázku č. 27 je znázornené Bineko pri teplote výpalu 1 100 °C. Táto vzorka ale preukazovala pomerne slabú mechanickú odolnosť po výpale a tak do ďalších experimentálnych skúšok nebola započítaná.



*Obrázok č. 27 – Bineko po výpale pri teplote 1 100 °C*

### 8.3.5 Výpal vzorky EP

Vzorka EP bola vypaľovaná najskôr pri teplote 800 °C. Tá sa vyznačovala slabou mechanickou odolnosťou a bolo možné ju rozdrviť v ruke. V neskoršej fáze bol prevedený výpal na 900, 1 000 a 1 100 °C. Na obrázku č. 28 je zreteľne vidieť farebné odlišenie vzoriek pri jednotlivých teplotách výpalu. Toto odlišenie je spôsobené zvýšeným obsahom železa (Fe).



*Obrázok č. 28 – Vzorka EP pri jednotlivých teplotách výpalu, z pravej strany sú to nasledovné teploty: 800, 900, 1 000 a 1 100 °C*



## 9. Popis jednotlivých procesov pri externej výrobe

Celý proces výroby prebiehal v spoločnosti Svoboda a syn, s.r.o, ktorá sa špecializuje na výskum a vývoj technológie pre spracovanie vedľajších energetických produktov. Jeho výroba sa líši najmä v procese výpalu, ktorý prebiehal na laboratórnej linke vychádzajúc z teoretických poznatkov o výpaloch na aglomeračných roštoch (viac kapitola 5.4.2).

V tomto procese výroby tvoria hlavnú surovinu odpad získaný zo spaľovania biomasy Velké Karlovice v roku 2015 (ďalej len N<sub>2015</sub>), N<sub>2013</sub> a elektrárensky popolček Dětmárovice (EP). Pre zvýšenie spáliteľných podielov bol v ojedinelých prípadoch pridávaný klasický úletový popolček dodávaný z US Steel Košice a v tejto práci nesie označenie USSK P6.

### 9.1 Príprava vstupných surovín

Príprava vstupných surovín bola vykonaná v centre AdMas Brno vo výskumnej skupine Technológia stavebných hmot. Rovnako spočívala v drvení (väčších frakcií) a následnom mletí. Tentokrát mletie prebiehalo v guľovom mlyne. Otáčaním mlecej nádoby a pohybom vložených mlecích korundových guľí dochádza k miešaniu a mletiu materiálu. Valcová mlecia nádoba je vybavená uzavieracím vekom. Pri procese mletia sa upne na valcovú mlecíu nádobu veko plne (uzavreté) a pri procese vyprázdňovania namletej suroviny je na nádobu upnuté dierkované veko aby sa surovina postupne z nádoby vyprázdňovala. Merná hmotnosť namletých surovín sa rovnako ako u laboratórneho mletia na planétovom mlyne pohybovala v rozmedzí od 450 do 550 m<sup>2</sup>/kg.

Celý proces namletia teda spočíva v dvoch etapách. V prvej etape sa surovina mele za použitia uzavretého veka a druhej etape sa namletá surovina vyprázdňuje použitím dierkovaného veka. V tomto prípade bol zvolený proces mletia na čas 25 minút a proces vyprázdňovania na 15 minút. Pri oboch procesoch bol počet otáčok nastavený na 42/minútu.

### 9.1.1 Stanovenie spáliteľných podielov

Vzhľadom k tomu, že sa jedná o iný technologický proces výpalu ako v predošlej kapitole, muselo samotnému výpalu predchádzať stanovenie spáliteľných podielov vstupných surovín. To prebiehalo podľa normy ČSN 72 0103 a bolo prevedené spoločnosťou Svoboda a syn. Prehľad spáliteľných podielov je znázornený v tabuľke č. 8. Keďže surovina N\_2013 neobsahovala dostatočné množstvo spáliteľných podielov, muselo sa k tejto surovine dodať vyšší spáliteľný podiel jej zmiešaním s úletovým popolčekom dodaný spomínanou spoločnosťou.

Tabuľka č. 8 – Prehľad spáliteľných podielov jednotlivých surovín

Označenie	Popis	Hodnota straty žíhaním [%]
N_2013	Odpad zo spaľovania biomasy z roku 2013	1,8
N_2015	Odpad zo spaľovania biomasy z roku 2015	9,7
EP	elektrárenský popolček Dětmárovice	4
USSK P6	klasický úletový popolček US Steel Košice	27,5

### 9.2 Granulovanie na peletizačnej míse

Granulovanie spomínaných vstupných surovín prebiehalo na peletizačnom tanieri o priemere 1,2 m. Granulácia bola prevedená na granulačnom tanieri tak, aby výsledná nabaľovaná surovina mala guľovitý tvar v rozmedzí granulometrie 4 – 16 mm.

Ako už bolo opomenuté hlavné suroviny pre výrobu tvorili N\_2015, N\_2013 a EP. Celkovo bolo vyrobené 3 druhy vzoriek dvoch frakcií, pričom základ každej vzorky tvoril EP. Ako je badateľné v tabuľke č. 6 (kapitola 9.1.1) surovina N\_2013 obsahuje najmenší podiel spáliteľných látok. Z toho dôvodu bol pridaný pri jeho výrobe popolček USSK P 6 na zvýšenie tohto podielu. Prehľad vyrobených vzoriek je uvedený v tabuľke č. 9.

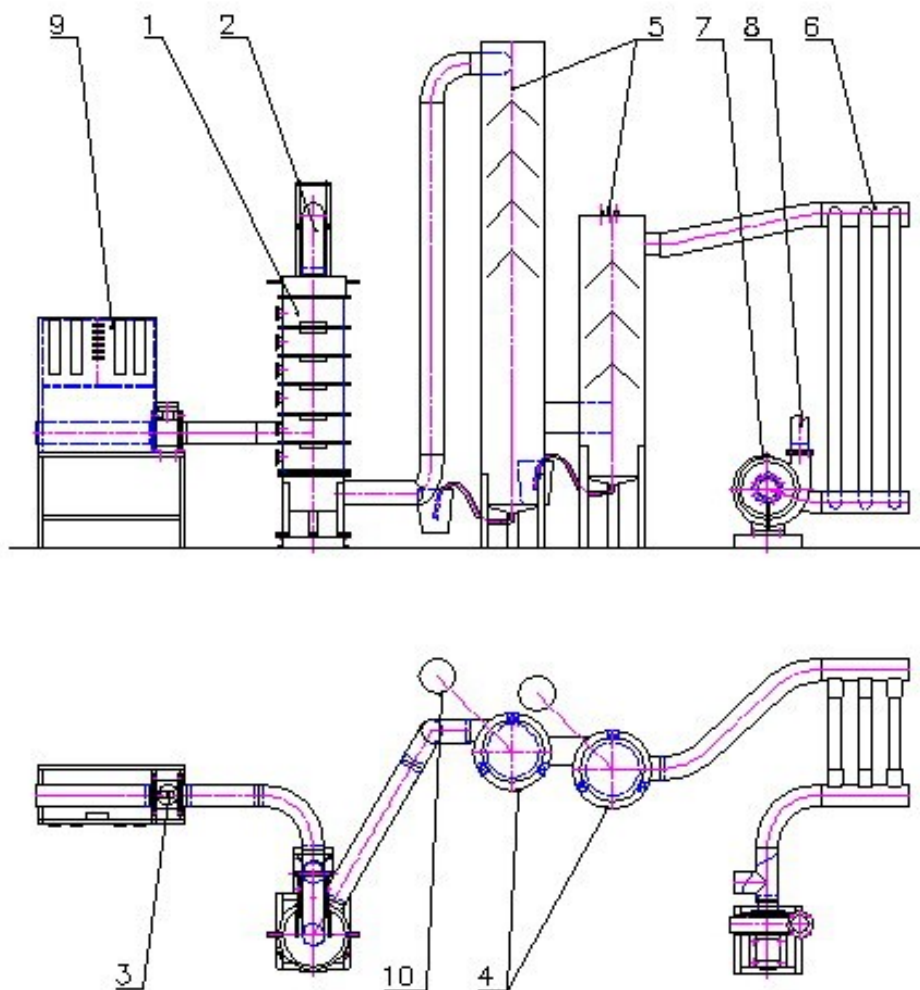
Tabuľka č. 9 – Prehľad vyrobených vzoriek

Označenie	Použité suroviny	Frakcia	Podiel spáliteľných látok [%]
EP+N_2015_A	popolček Dětmarovice (EP), odpad získaný zo spaľovania biomasy v roku 2015 (N_2015)	4/8	6,5
EP+N_2015_B		8/16	
EP+N_2015_C		4/8	7,5
EP+N_2015_D		8/16	
EP+N_2013+USSK P6_A	popolček Dětmarovice (EP), odpad získaný zo spaľovania biomasy v roku 2013 (N_2013), popolček Košice (USSK P6)	4/8	6,5
EP+N_2013+USSK P6_B		8/16	

Množstvo jednotlivých zložiek surovinovej zmesi použitej pri výrobe vzoriek je uvedené až v podkapitolách nasledujúcej kapitole 9.3 (Výpal jednotlivých vzoriek). Je to z dôvodu, že určenie správneho množstva vstupnej suroviny pred výpalom, vychádzalo z predošlých poznatkov výpalu (za účelom korigovania množstva spáliteľných podielov). Inak povedané návrh zloženia resp. množstva suroviny bol závislý na skúsenosti z predošlého výpalu.

### 9.3 Výpal jednotlivých vzoriek

Výpal jednotlivých vzoriek prebiehal na vertikálnej peci (PEC VERTIKAL V2.0). Schéma celej laboratórnej linky je zobrazená na obrázku č. 29. Vertikálna pec pozostáva z tzv. ocelových lubu o priemere 40 cm a výške 20 cm. Ich počet umožňuje rôzne výšky vsádzky až do 120 cm. Spodná časť pece je zabezpečená proti prepadu granulovanej vsádzky keramickým roštom a opatrená vývodom pred odvod dymových plynov, vlhkosti a prachu. [20]



Obrázok č. 29 – Schéma laboratórnej linky na výrobu agloporitu [22]

(1 – Laboratórna pec, 2 – Flexibilný prívod vzduchu, 3 – Merač spotreby vzduchu, 4 – Chladiče dymových plynov, 5 – Rozvod chladiacej vody, 6 – Kondenzačný chladič, 7 – Odťahový ventilátor, 8 – Odvod spalín, 9 – Prístrojový panel, 10 – Jímka kalovej vody)

Laboratórna linka je vybavená čidlami pre meranie teploty [20]:

- za pecou,
- pred veľkým chladičom,
- medzi chladičmi,
- za malým chladičom,
- za kondenzačným chladičom,
- pred ventilátorom.

Pec je opatrená otvormi pre nahliadnutie, ktorými je možné merať teplotu páliaceho pásma pomocou prenosného pyrometra. Ďalej je linka vybavená meračmi podtlaku, ktoré sú inštalované v nasledujúcich miestach [22]:

- pred pecou,
- za pecou,
- pred veľkým chladičom,
- za malým chladičom,
- za kondenzačným chladičom.

Laboratórny výpal v bežných podmienkach prebieha tak, že do zostavy laboratórnej pece sú umiestnené dva luby, ktoré vymedzujú výšku surovej vsádzky v peci na 40 cm. Po zaplnení lubu granulovanou surovinou vsádzkou je na hornej časti sústavy laboratórnej pece inštalovaný kruhový plynový zapalovací horák. Výkon horáku je možné regulovať (optimálne podmienky –  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  zemného plynu). Po spustení odťahového ventilátora a zriadenia podtlaku pod roštom na žiadanú hodnotu (20 – 60 mm vodného stĺpca = 0,2 – 0,6 kPa) je prevedené zapálenie horáku (viď obrázok č. 30). V priebehu zapalovania je možné merať teplotu povrchu zapalovanej vsádzky optickým pyrometrom. [22]

Po dokonalom zapálení povrchu vsádzky je plynový horák odstavený a zo zostavy pece odstránený. Na hornú časť pecnej sústavy je spustený oceľový poklop opatrený flexibilným prívodom spaľovacieho vzduchu. Množstvo presievaného vzduchu pri modelovaných výpaloch sa pohybuje v rozmedzí 60 – 120  $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  v závislosti na priedušnosti vsádzky a požadovanej rýchlosti jej prehorievania. V záverečnej časti výpalu prebieha chladenie vypálenej vsádzky (možnosť zvýšenia presievaného vzduchu na cca 150  $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ ). Po ukončení výpalu sú postupne vybraté všetky použité luby laboratórnej pece a následne je možné výsledný spečenec agloporitových zŕn z priestoru pece vybrať a po prvotnom rozdrožení zhodnotiť výpal. [22]



*Obrázok č. 30 – Vertikálna pec pri zapalovaní vsádzky [22]*



*Obrázok č. 31 – Uzavretá laboratórna pec [22]*



### 9.3.1 Vzorky EP+N\_2015 (A,B) so 6,5 % spáliteľným podielom

Vypaľovaná surovina pozostávala zo zmesi dvoch druhov popolčeka (EP a N\_2015) a zámesovej vody. Zloženie surovínovej zmesi je uvedené v tabuľke č. 10. Celkové množstvo použitej suroviny bolo 25 kg. Obsah spáliteľných látok bol s ohľadom na vlastností vstupných surovín zvolený pri 6,5 %. Výška vsádzky a rovnako aj výška podsypu predstavovali 20 cm. Podtlak v peci bol 350 Pa a doba zapaľovania bola 10 minút. Teplota v vsádzke pri výpale sa pohybovala v rozmedzí 1 100 – 1 200 °C. Vzorky boli vyrobené v dvoch frakciách (4/8 a 8/16). Protokol o prevedenom výpale je k nahliadnutiu v prílohe č. 1.

Tabuľka č. 10 – Zloženie a množstvo surovínovej zmesi

Zloženie surovínovej zmesi		strata žíhaním [%]	Množstvo [kg]	Percentuálne vyjadrenie [%]
Surovina 1	popolček EP	4,0	14,0	56
Surovina 2	N_2015	9,7	11,0	44
Spojivo	voda	-	2,0	-



Obrázok č. 32 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek (zdroj: Svoboda a syn, s. r. o)

V časti vypálenej vrstvy kameniva sa výpalom a podmienkami vytvoril jeden väčší spek s ľahkou rozdrúiteľnosťou. Výpal a podmienky je možné považovať za vhodné.

### 9.3.2 Vzorky EP+N\_2015 (C,D) so 7,5 % spáliteľným podielom

Vypaľovaná surovina sa zostavovala zo zmesi dvoch druhov popolčeka (EP, N\_2015) a zámesovej vody. Výsledky predošlého výpalu (kapitola 9.3.1) naznačili, že pre podmienky procesu výroby umelého kameniva môže byť vhodnejšia varianta s vyšším obsahom nedopalu v surovinovej vsádzke. Z tohto dôvodu bola overená surovinová zmes s obsahom spáliteľných látok zvolená na 7,5 %.

Výpal tejto surovinovej zmesi prebiehal na dvakrát. Najskôr bola vypaľovaná frakcia 4/8 a potom frakcia 8/16. Priebeh výpalu sa líšil najmä vo výške vsádzky a výške podsypu a tým spojený podtlak v peci a doba zapaľovania (viac tabuľka č. 11).

Tabuľka č. 11 – Podmienky pri výpale

Frakcia	Výška vsádzky [cm]	Výška podsypu [cm]	Podtlak v peci [Pa]	Doba zapaľovania [min]
4/8	20	20	350	10
8/16	80	30	500	16

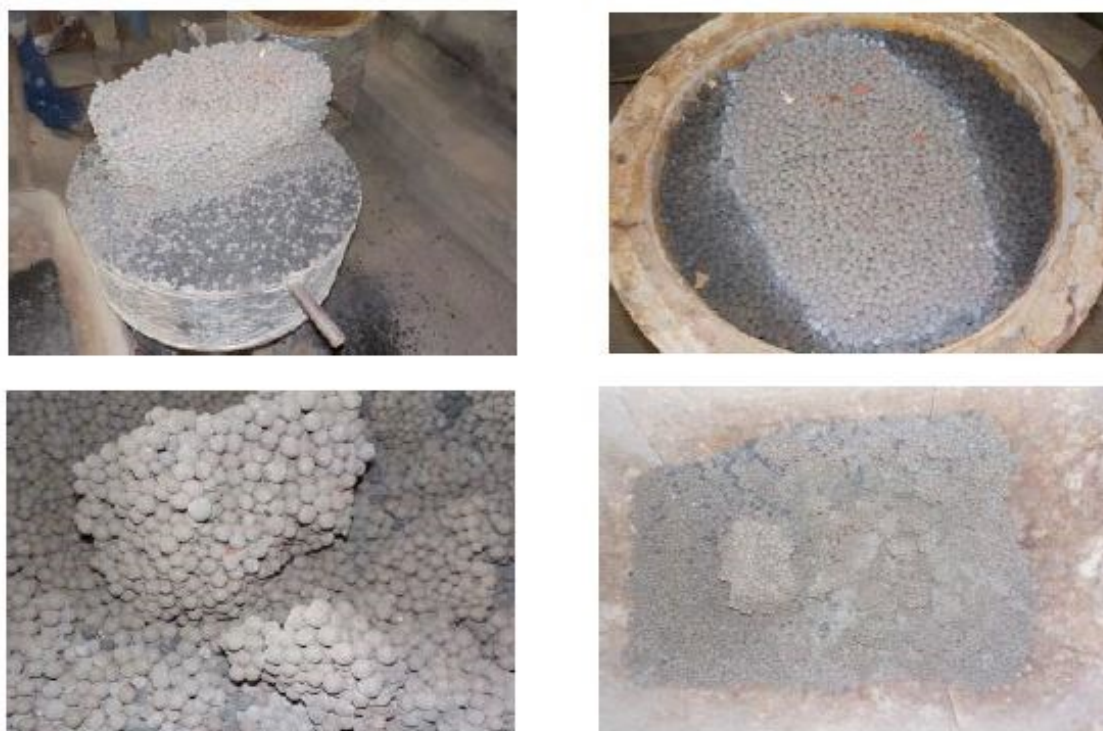
Teplota v peci v priebehu výpalu u **frakcie 4/8** pri podmienkach výpalu uvedených v tabuľke č. 9 sa pohybovala v rozmedzí 1 200 – 1 300 °C. Zloženie množstvo surovinovej zmesi použitej pri výpale tejto frakcie je uvedené v tabuľke č. 12. Celkové množstvo použitej suroviny bolo 25,1 kg.

Tabuľka č. 12 – Zloženie a množstvo surovinovej zmesi pre frakciu 4/8

Zloženie surovinovej zmesi		strata žíhaním [%]	Množstvo [kg]	Percentuálne vyjadrenie [%]
Surovina 1	popolček EP	4,0	9,7	38,65
Surovina 2	N_2015	9,7	15,4	61,35
Spojivo	voda	-	2,0	-



V časti vypálenej vrstvy kameniva sa výpalom a podmienkami vytvoril jeden väčší spečenec s ľahkou rozdrúžiteľnosťou (viac obrázok č. 33). Protokol k nahliadnutiu je k dispozícii v prílohe č. 2.



Obrázok č. 33 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek frakcie 4/8 (zdroj: Svoboda a syn, s. r. o)

Celkové množstvo použité na výrobu frakcie 8/16 bolo 80 kg. Jeho zloženie a množstvo jednotlivých surovín je uvedené v tabuľke č. 13.

Tabuľka č. 13 – Zloženie a množstvo surovinovej zmesi pre frakciu 8/16

Zloženie surovinovej zmesi		strata žíhaním [%]	Množstvo [kg]	Percentuálne vyjadrenie [%]
Surovina 1	popolček EP	4,0	30,8	38,5
Surovina 2	N_2015	9,7	49,2	61,5
Spojivo	voda	-	8,0	-

Surovinové zloženie bolo zvolené na základe výsledkov a poznatkov získaných pri predošliých výpaloch. V časti vypálenej vrstvy kameniva sa výpalom a podmienkami vytvorili väčšie spečence s ľahkou rozdrúžiteľnosťou. Výpal i podmienky výpalu je možné považovať za vhodné.



Obrázok č. 34 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek frakcie 8/16 (zdroj: Svoboda a syn, s. r. o)

Protokol z výroby tejto frakcie je k nahliadnutiu v prílohe č. 3.

### 9.3.3 Vzorky EP+N\_2013+USSK P6 so 6,5 % spáliteľným podielom

Vypaľovaná surovina sa zostavovala zo zmesi troch druhov popolčeka (EP, N\_2013 a USSK P6). Popolček USSK P6 bol do surovinovej zmesi pridaný ako korigujúca prísada za účelom dosiahnutia požadovaného množstva spáliteľných látok. Celkové množstvo suroviny bolo 25 kg a jeho jednotlivé zloženie je uvedené v tabuľke č. 14. Obsah spáliteľných látok činil 6,5 %.

Výška vsádzky ako aj výška podsypu bola 20 cm. Podtlak v peci bol 350 Pa a doba zapaľovania 10 minút. Teplota vsádzky pri výpale sa vzhľadom k nastaveným podmienkam pohybovala v rozmedzí 1 100 – 1 200 °C.

Tabuľka č. 14 – Zloženie vstupných surovín

Zloženie surovinovej zmesi		strata žiňaním [%]	Množstvo [kg]	Percentuálne vyjadrenie [%]
Surovina 1	popolček EP	4,0	10,7	38,5
Surovina 2	N_2013	9,7	10,7	61,5
Surovina 3	USSK P6	27,5	3,6	-
Spojivo	voda	-	2,0	-



Obrázok č. 35 – Fotodokumentácia vypáleného kameniva (zdroj: Svoboda a syn, s. r. o)

V časti vypálenej vrstvy kameniva sa výpalom a podmienkami vytvoril väčší spečenec s ľahkou rozdrúžiteľnosťou. Pri porovnaní s výpalom EP+N\_2015 so 6,5 % spáliteľným podielom (kapitola 9.3.1) bolo vzhľadom na rovnaké množstvo vsádzky získané menšie množstvo vypáleného kameniva, vsádzka pri krajoch zle prehorievala. Podmienky surovinovej vsádzky boli v tomto prípade horšie. Protokol o výrobe tohto kameniva je dostupný v prílohe č. 4.

## 10. Výber skúšobných metód

Na skúšanie vyrobených vzoriek boli vybraté skúšky, ktorých hodnoty reprezentujú komerčne vyrábané pórovité kamenivo. V nasledujúcich podkapitolách je uvedený popis vykonaných skúšok podľa odpovedajúcej normy.

### 10.1 Objemová hmotnosť

Stanovenie objemovej hmotnosti vychádza z normy ČSN EN 1097-6: Stanovenie objemovej hmotnosti zŕn a nasiakavosti, príloha E: objemová hmotnosť zŕn pórovitého kameniva metódou odmerného valca. [4]

#### Postup skúšky [18]:

Skúška sa prevádza s použitím dvoch navážok. V priebehu skúšky sa používaná voda musí udržiavať na teplote  $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ .

Jedna z navážok sa umiestni do prvého odmerného valca označeného ako A. Druhý odmerný valec, označený ako B, sa naplní vodou tak, aby celkový objem vody a ponoreného oceľového piestu dosahoval hodnotu 400 ml ( $V_w$ ). Voda z valca B sa preleje do valca A. Oceľový plast sa rýchlo vsunie do valca A a začne sa odmeriavať čas. Jemným pohybom s oceľovým piestom sa odstráni zachytený vzduch. Značka na tyči oceľového piestu sa vyrovná s hladinou vody a pripočíta sa objem kameniva a vody vo válci A po 30 s. Postup sa opakuje s druhou navážkou. [4]

Zdanlivá objemová hmotnosť zŕn  $\rho_{La}$  sa vypočíta pre každú navážku pórovitého kameniva, v  $\text{Mg/m}^3$ , podľa nasledujúcej rovnice [4]:

$$\rho_{La} = \frac{M_4}{V(F) - V_w} \quad [4]$$

kde:  $\rho_{La}$  ... zdanlivá objemová hmotnosť zŕn [ $\text{Mg/m}^3$ ],

$M_4$  ... hmotnosť vysušeného kameniva [g],

$V(F)$ ...objem vody, oceľového piestu (pokiaľ bol použitý) a kameniva [ml],

$V_w$  ... objem vody a oceľového piestu (pokiaľ bol použitý) [ml].

## 10.2 Sypná hmotnosť kameniva a medzerovitost'

Stanovenie sypnej hmotnosti kamenivo bolo prevedené podľa normy ČSN EN 1097-3.  
[5]

Tabuľka č. 15 – Najmenší objem nádoby v závislosti na veľkosti zrna kameniva [5]

Horné zrno kameniva (D) [mm]	Objem [l]
Do 4	1,0
Do 16	5,0
Do 31,5	10
Do 63	20

### Postup:

Pripravajú sa tri navážky pre frakciu 4/8 a 8/16 na 5,0 l. Vysušia sa pri  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálenej hmotnosti.

Zváži sa prázdna, suchá a čistá nádoba ( $m_1$ ). Nádoba sa umiestni na vodorovnú plochu a s použitím lopatky sa preplní kamenivom. Pri plnení je nutné zabrániť segregácií opretím lopatky na horný okraj nádoby. Koniec lopatky nesmie byť vyššie ako 50 mm nad horným okrajom nádoby.

Opatrne sa odstráni prebytočné kamenivo nad horným okrajom nádoby, pričom je nutné zabrániť segregácií kameniva na povrchu. Povrch kameniva sa opatrne zarovná pravítkom, aby nedošlo k zhutneniu akejkoľvek časti povrchu. Pokiaľ to nie je prevediteľné, zarovná sa povrch ručne tak, aby objem kameniva bol pokiaľ možno rovnaký ako objem nádoby. Zváži sa naplnená nádoba a zaznamená sa jej hmotnosť na 0,1 % ( $m_2$ ). Tento princíp sa prevedie 3x.

Sypná hmotnosť voľne sypaného kameniva sa vypočíta pre každú navážku podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [5]$$

kde:  $\rho_b$  ... sypná hmotnosť voľne sypaného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ],

$m_2$  ... hmotnosť nádoby so skúšobnou navážkou [kg],

$m_1$  ... hmotnosť prázdnej nádoby [kg],

$V$  ... objem nádoby [l].

Setřesená sypná hmotnosť sa vypočíta obdobným spôsobom ako sypná hmotnosť voľne sypaného kameniva s tým, že ako hmotnosť  $m_2$  sa uvádza hmotnosť nádoby a zvibrovannej skúšobnej navážky.

**Medzerovitost'  $v$** , vypočítava percentuálny podiel objemu medzier medzi zrnami kameniva v nádobe. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzťahu:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \quad [5]$$

kde:  $v$  ... medzerovitost' [%],

$\rho_b$ ... sypná hmotnosť voľne sypaného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ],

$\rho_p$ ... objemová hmotnosť kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ].

### 10.3 Stanovenie mernej hmotnosti pyknometricky a stanovenie pórovitosti

Stanovenie mernej hmotnosti pyknometrickou metódou bolo prevedené podľa normy ČSN 72 2113. Predmetom je zistiť zdanlivú mernú hmotnosť sypkého materiálu.

#### Postup

Najskôr sa zváži hmotnosť vysušeného pyknometra ( $m_1$ ). Zváži sa hmotnosť navážky suroviny ( $m$ ). Navážka sa umiestni do pyknometra, doplní sa destilovanou vodou a zváži sa ako hmotnosť  $m_4$ . Ďalej sa zváži hmotnosť samostatného pyknometra s destilovanou vodou ( $m_3$ ). Všetko sa prevedie 4x. Zmeria sa teplota kvapaliny a stanoví sa hustota vody.

$$\rho_s = \frac{m}{m - (m_4 - m_3)} * \rho \quad [6]$$

kde:  $m_1$  ... hmotnosť vysušeného pyknometra [g],

$m$  ... hmotnosť navážky [g],

$m_3$  ... hmotnosť pyknometra s navážkou a kvapalinou [g],

$m_4$  ... hmotnosť pyknometra s kvapalinou [g],

$\rho$  ... hustota vody ako funkcia teploty [ $\text{Mg/m}^3$ ],

$\rho_s$  ... merná hmotnosť navážky [ $\text{Mg/m}^3$ ].

Po zistení mernej hmotnosti a objemovej hmotnosti (kapitola 10.1) sa potom stanoví pórovitosť  $V_P$ :

$$V_P = \frac{\rho_S - \rho_{LA}}{\rho_S} * 100$$

kde:  $\rho_S$  ... merná hmotnosť navážky [ $\text{Mg}/\text{m}^3$ ],

$\rho_{LA}$  ... zdanlivá objemová hmotnosť zrn [ $\text{Mg}/\text{m}^3$ ],

$V_P$  ... pórovitosť [%].

#### 10.4 Stanovenie nasiakavosti

Nasiakavosť stanovuje množstvo vody, ktoré pojme suché kamenivo za určitý čas vo vode. Skúška bola prevedená podľa normy ČSN EN 1097-6. [4]

$$n_m = \frac{m_n - m_d}{m_d} * 100 \quad [4]$$

kde:  $m_n$  ... hmotnosť suchej vzorky [kg],

$m_d$  ... hmotnosť nasiaknutej vzorky [kg],

$n_m$  ... nasiakavosť [%].

#### 10.5 Stanovenie pevnosti v tlaku

Norma ČSN EN 1097-11 určuje referenčnú metódu používanú pri skúškach typu a v prípade sporu pre stanovenie stlačiteľnosti a pevnosti v tlaku pórovitého kameniva (LWA). V iných prípadoch, konkrétne pri kontrole riadenia výroby, sa smie použiť iná metóda s podmienkou, že je vhodná a podobná referenčnej metóde. [7]

Pevnosť v tlaku CS(10) odpovedá únosnosti  $\sigma(F)$  pri 10 % deformácií, keď  $D_F = 10$  %, podľa tohto vzorca:

$$CS(10) = \frac{F_{10}}{A} \quad [7]$$

kde: CS(10) ... pevnosť v tlaku [MPa],

$F_{10}$  ... zaznamenané zaťaženie pri  $D_F = 10$  % [N],

$A$  ... plocha ocelevej dosky roznášajúca zaťaženie [ $\text{mm}^2$ ].



Vzhľadom k tomu, že pri vykonaní tejto skúšky nebolo možné technicky zaistiť skúšobnú nádobu na stanovenie pevnosti v tlaku podľa normy ČSN EN 1097-11 jej výsledky nemusia korešpondovať s údajmi udávanými spoločnosťou Svoboda a syn, s. r. o (agloporit) alebo údajmi uvedené u komerčne vyrábaného produktu Keramzit. Jedná sa teda o skúšku orientačnú, ktorá má za úlohu jednotlivé vzorky medzi sebou porovnávať.

Na stanovenie pevnosti tlaku bola v laboratóriu stavebných hmot na FAST použitá skúšobná oceľová forma (kocka) s vnútornými rozmermi 150 x 150 x 150 mm a zaťažovacia doska s rozmermi 150 x 150 x 40 (výška 40 mm). Zaplnenie ocelevej formy skúšobnou vzorkou bolo prevedené podľa normy. Následne bola skúšobná vzorka zaťažovaná až do dosiahnutia 10 % deformácie (15 mm).

## **10.6 Prvková analýza pomocou Spektrometra NITON XL3T GOLDD**

Stanovenie analýzy chemického zloženia danej suroviny prebiehalo pomocou röntgenového spektrometra (viď obrázok č. 36)



*Obrázok č. 36 – röntgenový spektrometer [17]*

### Postup

Skúšaná vzorka sa umiestni do plastovej nádoby, kde jedna stranu tvorí tenká fólia. Touto stranou sa uloží na spektrometer a pustí sa meranie. Výsledky sa zobrazujú okamžite po štarte merania.



Toto zariadenie využíva pre budenie vzorky kompaktnú röntgenku s výkonom 4 W. Analýza je založená na detekcii a následnom spektrálnom vyhodnotení RTG žiarenia. Rozmery detektoru a jeho usporiadanie umožňuje dosiahnutie dostatočnej citlivosti a výnimočných detekčných limit. Vďaka čomu je možné analyzovať prvky od horčíka až po urán.

## 11. Výsledky prevedených skúšok

V jednotlivých podkapitolách sú uvedené výsledky prevedených skúšok na vzorkách laboratórnej výroby (FAST) ako aj na vzorkách externej výroby oddelenia výskumu a vývoja Svoboda a syn, s.r.o.

### 11.1 Stanovenie vlastností vstupných surovín

V tabuľke č. 16 sú uvedené sypné hmotnosti a spáliteľné podiely vstupných surovín v namletom stave, ktoré boli vykonané v spoločnosti Svoboda a syn. V tabuľke č. 17 sú potom uvedené merné hmotnosti vstupných surovín. Protokoly o vlastnostiach vstupných surovín sú uvedené v prílohách č. 5 až 8. V nasledujúcich kapitolách sú výsledky základných prevedených skúšok ako merná hmotnosť (kapitola 11.4), sypná hmotnosť a chemická analýza, ktorá je uvedená v kapitole 11.7. Hodnoty merného povrchu sa pohybovali v rozmedzí 450 – 550 m<sup>2</sup>/kg.

Tabuľka č. 16 – Výsledky sypných hmotností vstupných surovín v namletom stave

Vstupná surovina	Voľná [Mg/m <sup>3</sup> ]	Strasená [Mg/m <sup>3</sup> ]	Podiel spáliteľných látok [%]
N_2013	1,07	1,28	1,8
N_2015	0,81	0,91	9,7
EP	1,09	1,20	4,0
USSK P6	0,63	0,73	27,5

Tabuľka č. 17 – Merné hmotnosti vstupných surovín

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Merná hmotnosť [Mg/m <sup>3</sup> ]
N_2013	pred výpalom	2,39
N_2015		1,83
EP	900	2,15

Najmenšiu hodnotu mernej hmotnosti z nameraných vzoriek vykazuje vzorka N\_2015 čo je spôsobené najvyšším spáliteľným podielom. Na vzorke USSK P6 nebola prevedená merná

hmotnosť pretože sa jedná o interný materiál spoločnosti Svoboda a syn, s. r. o. Je predpoklad, že merná hmotnosť by bola v tomto prípade najmenšia práve u tejto vzorky.

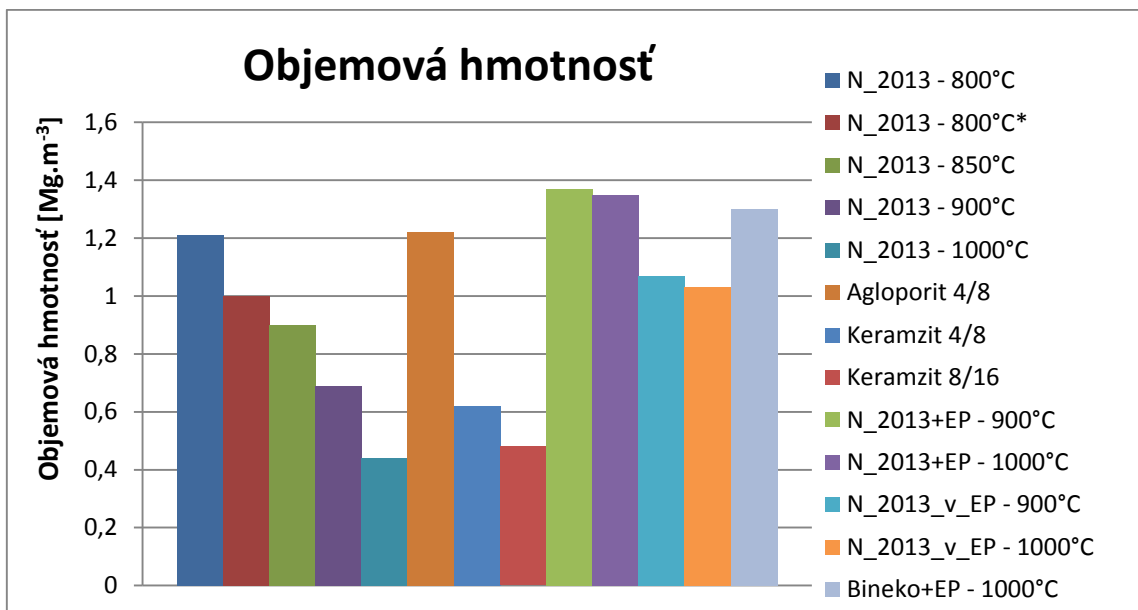
## 11.2 Objemové hmotnosti jednotlivých vzoriek

V tabuľke č. 18 sú uvedené výsledky objemových hmotností vzoriek laboratórnej výroby na FAST. Pre porovnanie bola objemová hmotnosť stanovená aj na Agloporite, čiže kamenivu oddeleniu výskumu a vývoja Svoboda a syn, s.r.o. Ďalej bola pre zrovnanie výsledkov stanovená objemová hmotnosť na komerčne vyrábanom kamenivu Keramzit v dvoch frakciách 4/8 a 8/16.

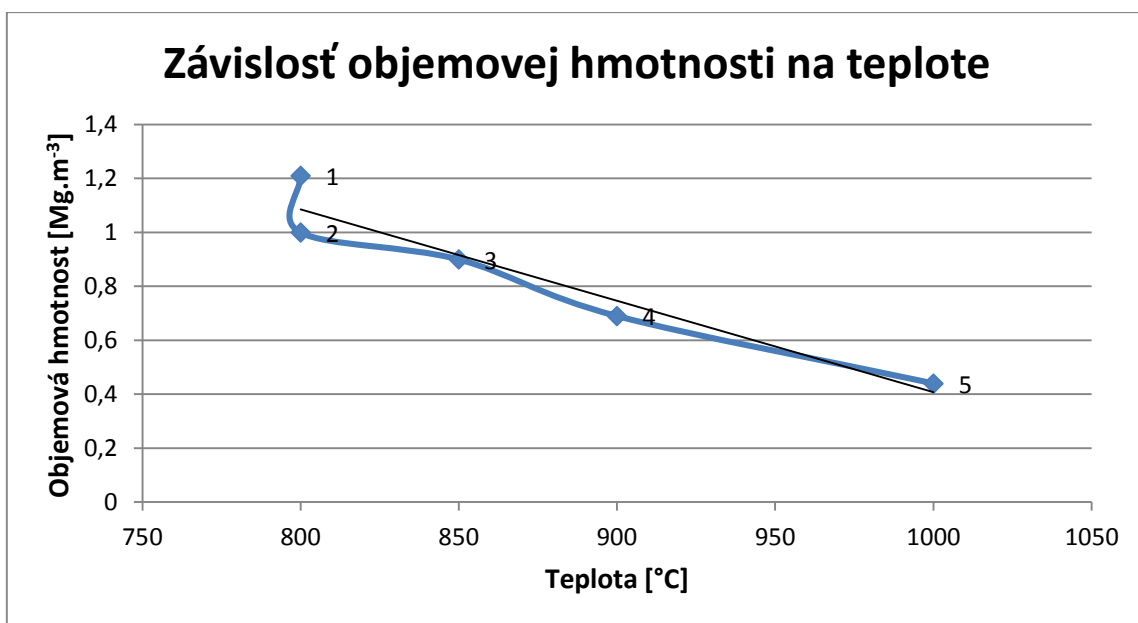
Tabuľka č. 18 – Objemové hmotnosti vzoriek laboratórnej výroby

Označenie vzorky	Použité vstupné suroviny	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnosť [Mg/m <sup>3</sup> ]
N_2013	Odpad získaný po spaľovaní z biomasy z roku 2013	800	1,21
		800*	1,00
		850	0,90
		900	0,69
		1 000	0,44
Agloporit 4/8	Svoboda a syn, s.r.o	-	1,22
Keramzit 4/8	Komerčný výrobok	-	0,62
Keramzit 8/16			0,48
N_2013+EP	N_2013 s EP v pomere 1:1	900	1,37
		1 000	1,35
N_2013_v_EP	N_2013 obalený EP	900	1,07
		1 000	1,03
Bineko+EP	Bineko s EP v pomere 1:1	1 000	1,30

Poznámka \* - predstavuje nadržvaný produkt po výpale



Graf č. 1 – Znáznornenie hodnôt objemových hmotností jednotlivých produktov (za názvom vzorky je uvedená teplota výpalu resp. frakcia)



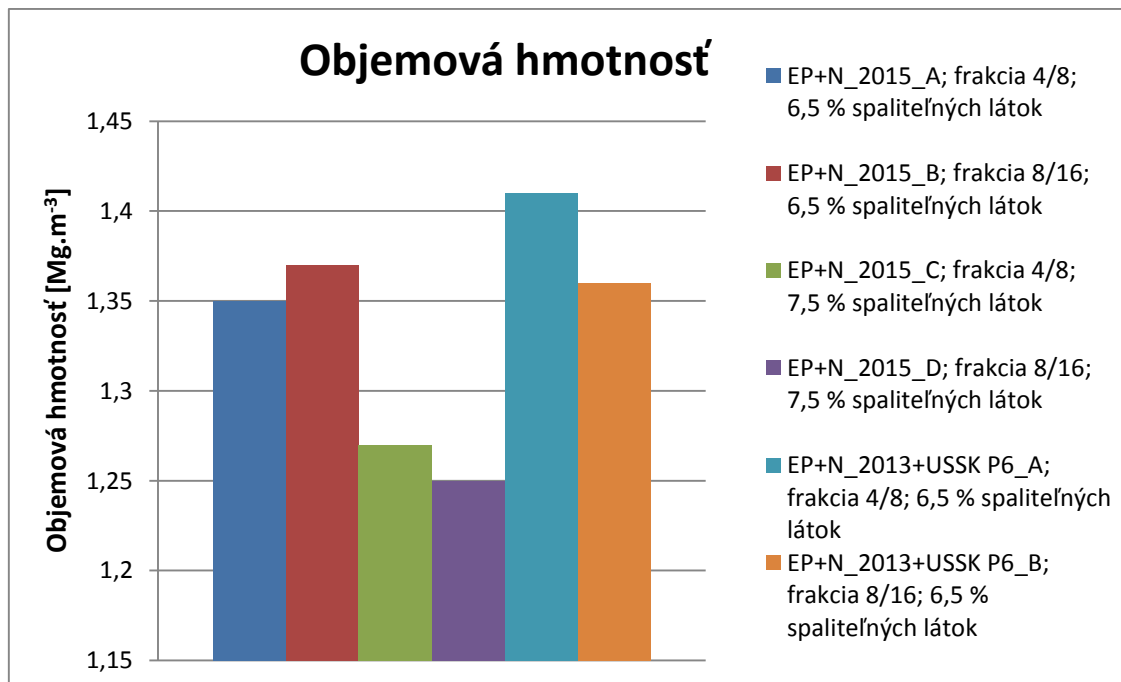
Graf č. 2 – Závislosť objemovej hmotnosti na teplote výpalu u vzoriek N\_2013

(1 – 800 °C, 2 - 800 °C\_drvený, 3 – 850 °C, 4 – 900 °C, 5 – 1 000 °C)

Na grafe č. 2 je badateľná závislosť medzi objemovou hmotnosťou a teplotou výpalu u vzorkách N\_2013 laboratórne vyrobených. Čím je vyššia teplota výpalu tým má kamenivo menšiu objemovú hmotnosť. V tabuľke, je badateľné, že zvýšením podielu spáliteľných látok sa podľa očakávania znížila ich objemová hmotnosť.

Tabuľka č. 19 – Vzorok vyrobený v oddelení výskumu a vývoja Svoboda a syn, s. r. o

Označenie	Použité suroviny	Frakcia	Podiel spáliteľných látok [%]	Objemová hmotnosť [Mg/m <sup>3</sup> ]
EP+N_2015_A	popolček Dětmarovice (EP), odpad získaný zo spaľovania biomasy v roku 2015 (N_2015)	4/8	6,5	1,35
EP+N_2015_B		8/16		1,37
EP+N_2015_C		4/8	7,5	1,27
EP+N_2015_D		8/16		1,25
EP+N_2013+USSK P6_A	popolček Dětmarovice (EP), odpad získaný zo spaľovania biomasy v roku 2013 (N_2013), popolček Košice (USSK P6)	4/8	6,5	1,41
EP+N_2013+USSK P6_B		8/16		1,36



Graf č. 3 – Namerané objemové hmotnosti vzoriek vyrobených v spoločnosti Svoboda a syn, s. r. o

### 11.3 Sypná hmotnosť a medzerovitosť jednotlivých vzoriek

Z dôvodu nedostatočného množstva produktov nebola stanovená sypná hmotnosť na všetkých vyrobených produktoch. V takomto prípade bola stanovená sypná hmotnosť na vstupných surovinách v sypkom stave. V tabuľke č. 20 sú uvedené všetky nameraná sypné hmotnosti hotových produktov, kde boli opäť na porovnanie stanovené aj sypné hmotnosti či už agloporitu alebo komerčne vyrábaného keramzitu.

Tabuľka č. 20 – Výsledky sypných hmotností a medzerovitosti vyrobených produktov

Vzorka	Frakcia	Voľná [Mg/m <sup>3</sup> ]	Strasená [Mg/m <sup>3</sup> ]	Medzerovitosť [%]
keramzit	4/8	0,40	0,45	35,38
	8/16	0,30	0,34	36,91
agloporit	4/8	0,68	0,76	44,50
EP+N_2015_A	4/8	0,69	0,78	44,26
EP+N_2015_B	8/16	0,73	0,80	46,87
EP+N_2015_C	4/8	0,75	0,83	40,59
EP+N_2015_D	8/16	0,73	0,80	41,96
EP+N_2013+USSK P6_B	8/16	0,69	0,78	49,48
Bineko+EP_1000°C	8/16	0,61	0,70	53,04
N_2013_v_EP _1000 °C	4/8	0,58	0,67	43,23
N_2013_drv _800 °C	8/16	0,65	0,72	35,78

#### 11.4 Merná hmotnosť a pórovitosť

Merná hmotnosť bola stanovená na 7 vzorkách v namletom stave (viď tabuľka č. 21). Teplota destilovanej vody bola nameraná na 20 °C čo do výpočtov predstavuje hodnotu jej hustoty 0,998 Mg/m<sup>3</sup>.

Tabuľka č. 21 – Merná hmotnosť a pórovitosť nameraných vzoriek

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Merná hmotnosť [Mg/m <sup>3</sup> ]	Pórovitosť [%]
N_2013	pred výpalom	2,39	-
N_2015		1,83	-
EP	900	2,15	-
N_2013+EP	1 000	2,43	44,40
N_2013	800	2,38	49,28
	1 000	2,40	81,80
Agloporit	-	2,52	51,47

Najmenšiu hodnotu mernej hmotnosti dosahuje vzorka N\_2015. Je to zrejme spôsobené tým, že obsahuje väčšie množstvo spáliteľných látok.

#### 11.5 Nasiakavosť

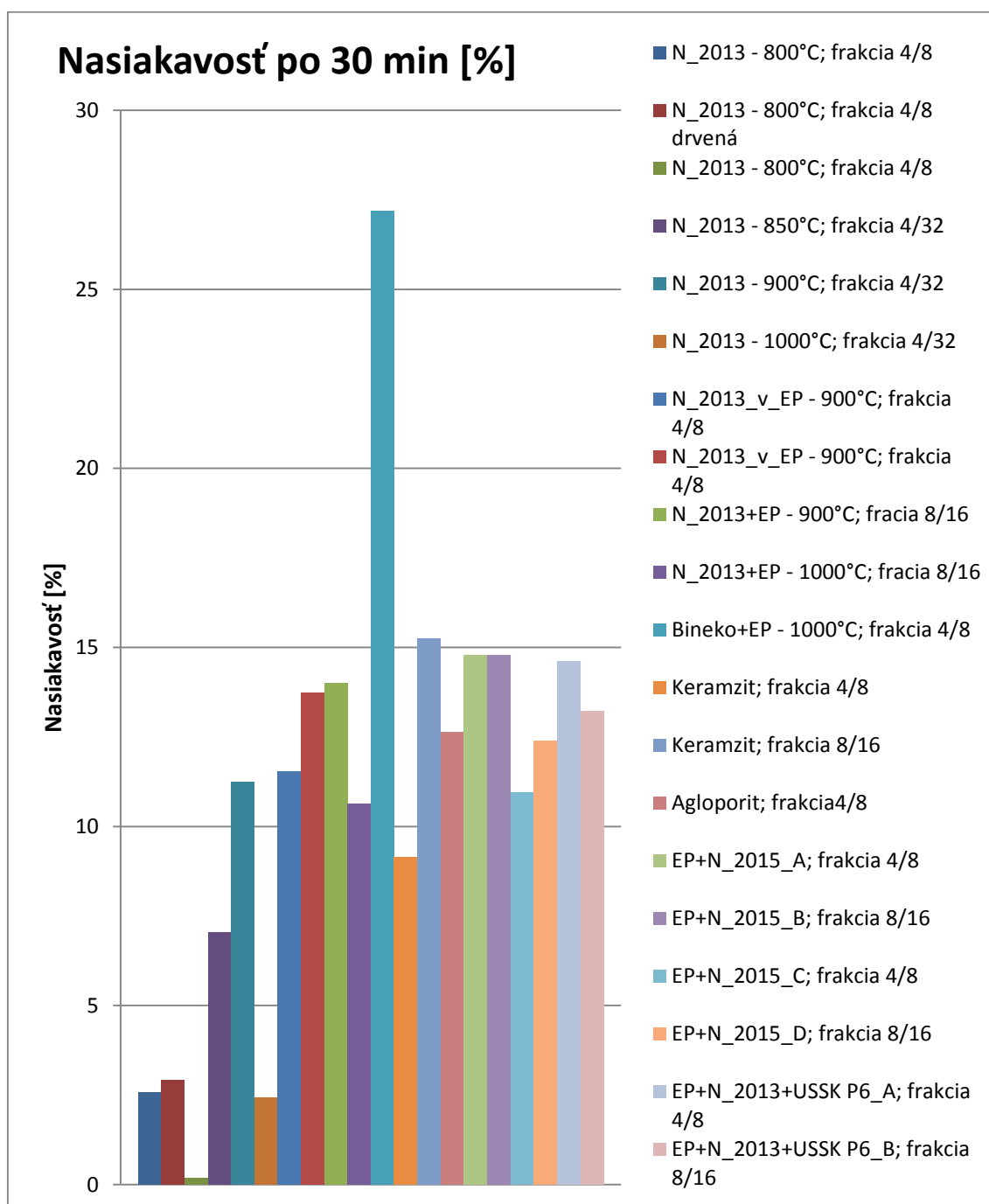
Hodnoty nasiakavosti boli merané po 30 minútach, 3 hodinách a 24 hodinách. V tabuľke č. 22 sú uvedené ich hodnoty. U vzoriek N\_2013, N\_2013\_v\_EP, N\_2013+EP a Bineko+EP bola zvolená izotermická výdrž pri výpale na jednu hodinu. V jedinom prípade pre porovnanie bola izotermická výdrž 10 minút.

Tabuľka č. 22 – Hodnoty nasiakavosti jednotlivých produktov

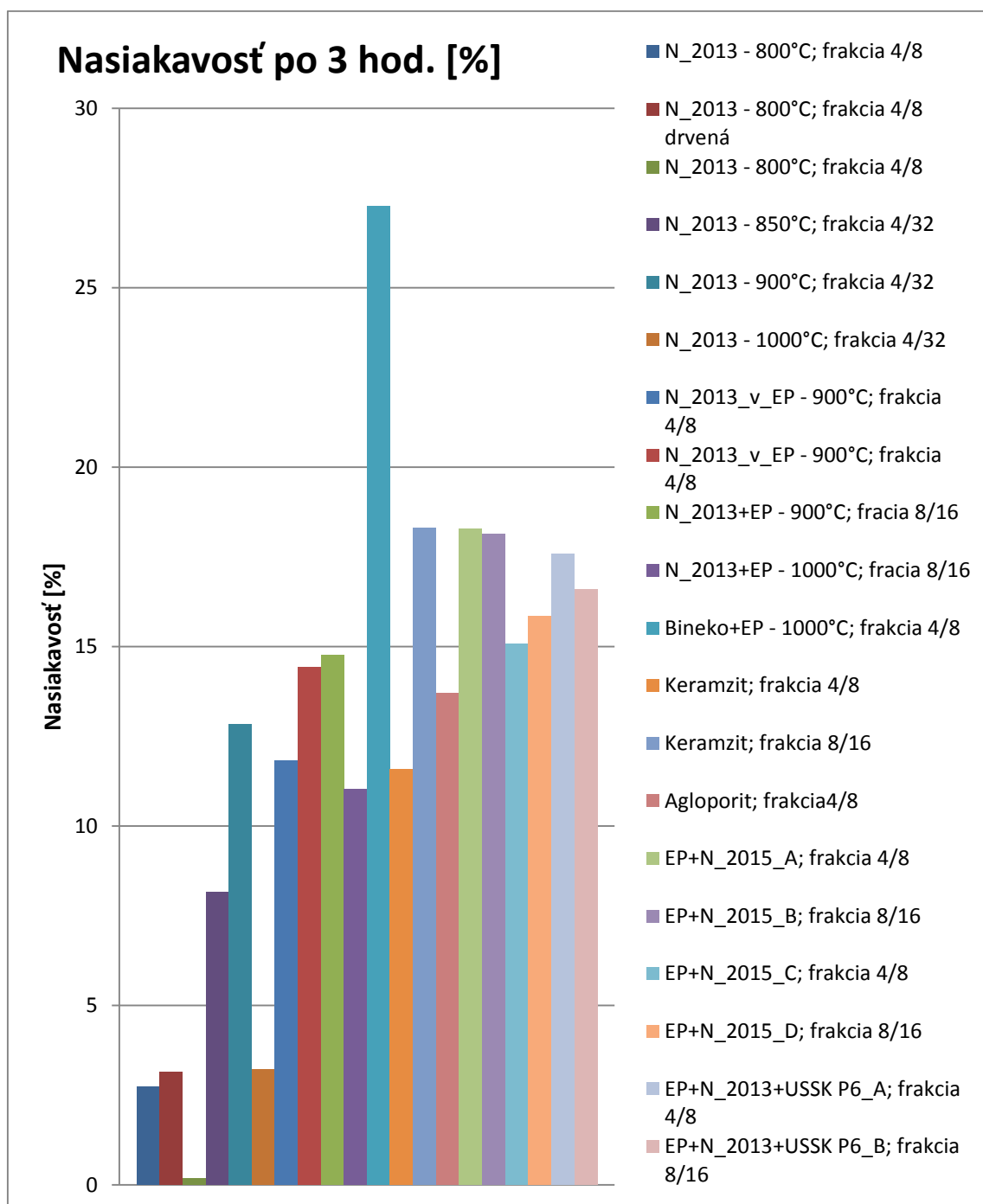
Vzorka	Frakcia	Teplota výpalu [°C]	Nasiakavosť po 30 min. [%]	Nasiakavosť po 3 hod. [%]	Nasiakavosť po 24 hod. [%]
N_2013	4/8	800**	2,57	2,72	3,88
	4/8 drvená	800	2,91	3,14	3,26
	4/8	800	0,17	0,17	0,33
	*	850	7,04	8,15	11,31
	*	900	11,25	12,84	12,97
	*	1 000	2,42	3,21	3,82
N_2013_v_EP	4/8	900	11,53	11,82	14,49
	4/8	1 000	13,73	14,42	18,65
N_2013+EP	8/16	900	13,99	14,77	16,92
	8/16	1 000	10,63	11,02	13,37
Bineko+EP	4/8	1000	27,19	27,27	27,61
Keramzit	4/8	-	9,15	11,58	16,24
Keramzit	8/16	-	15,24	18,30	21,53
Agloporit	4/8	-	12,64	13,70	16,43
EP+N_2015_ A	4/8	-	14,77	18,29	19,01
EP+N_2015_B	8/16	-	14,80	18,13	19,56
EP+N_2015_C	4/8	-	10,96	15,08	15,64
EP+N_2015_ D	8/16	-	12,40	15,84	16,60
EP+N_2013+ USSK P6_A	4/8	-	14,61	17,59	18,62
EP+N_2013+ USSK P6_B	8/16	-	13,22	16,59	17,58



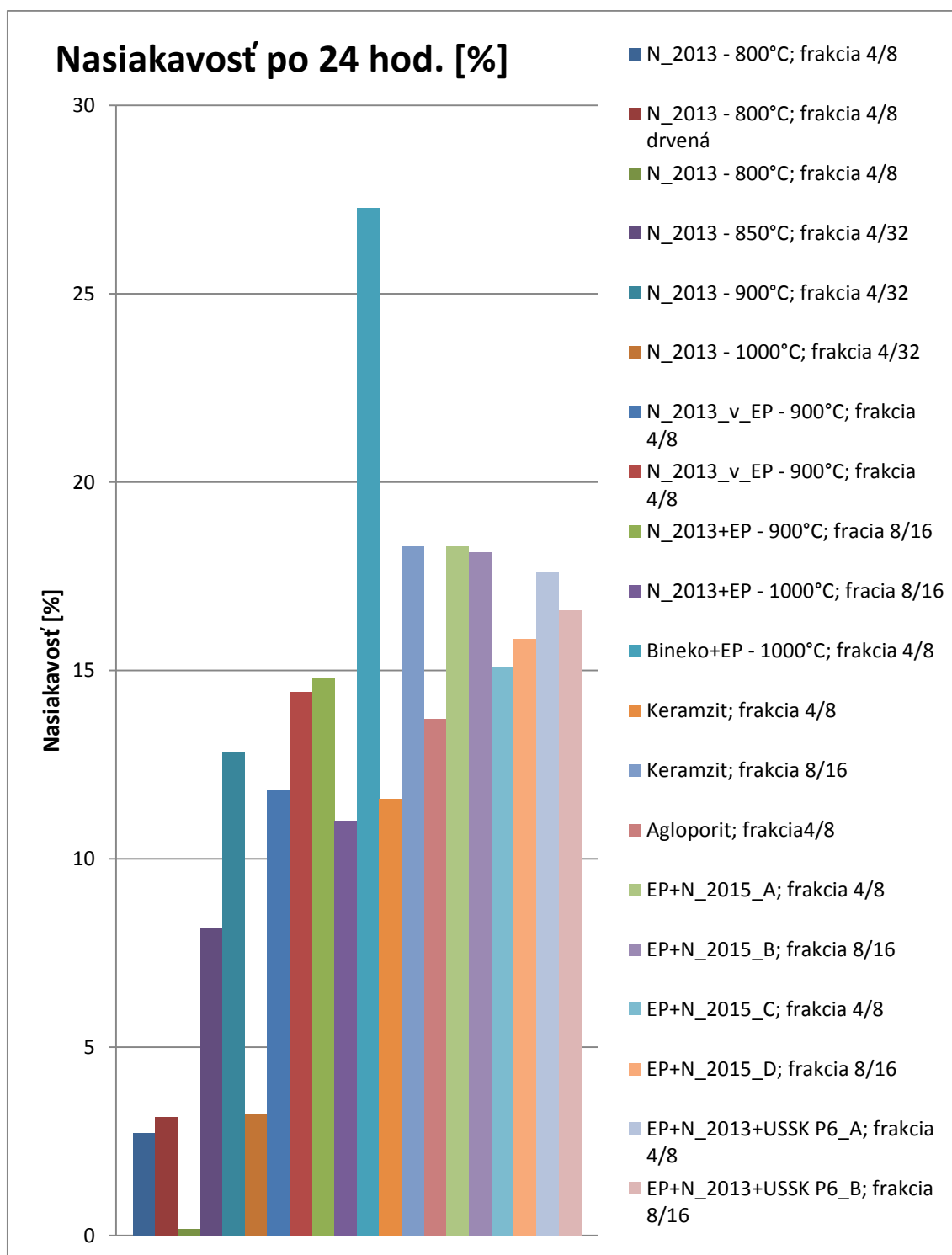
Poznámka \* - pri týchto vzoriek nebolo dostatočné množstvo kameniva na sitový rozbor a tak berieme do úvahy frakciu 4/32; \*\* - Označuje izotermickú výdrž pri výpale 10 minút.



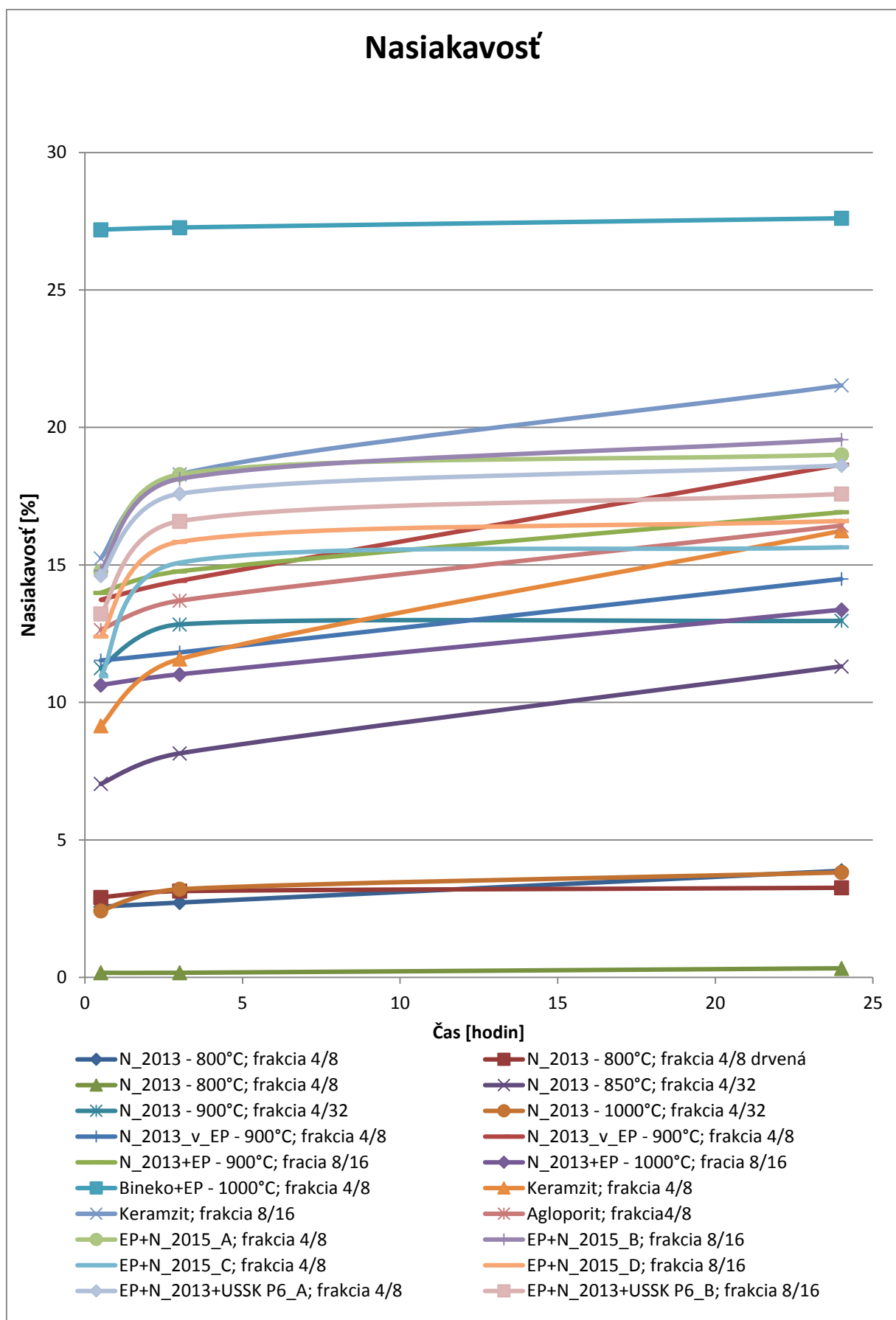
Graf č. 4 – Nasiakavosť jednotlivých vzoriek po 30 minútach



Graf č. 5 - Nasiakavosť jednotlivých vzoriek po 3 hodinách



Graf č. 6 - Nasiakavosť jednotlivých vzoriek po 24 hodinách



Graf č. 7 – Nasiakavosť všetkých vzoriek v závislosti na čase (30 minút, 3 hodiny, 24 hodín)

## 11.6 Pevnosť v tlaku

Vzhľadom na obmedzené množstvo materiálu bola táto skúška vykonaná len na vzorkách u ktorých bolo toto množstvo dostatočné. Pre porovnanie výsledkov boli opäť pri tejto skúške použité komerčné výrobky.

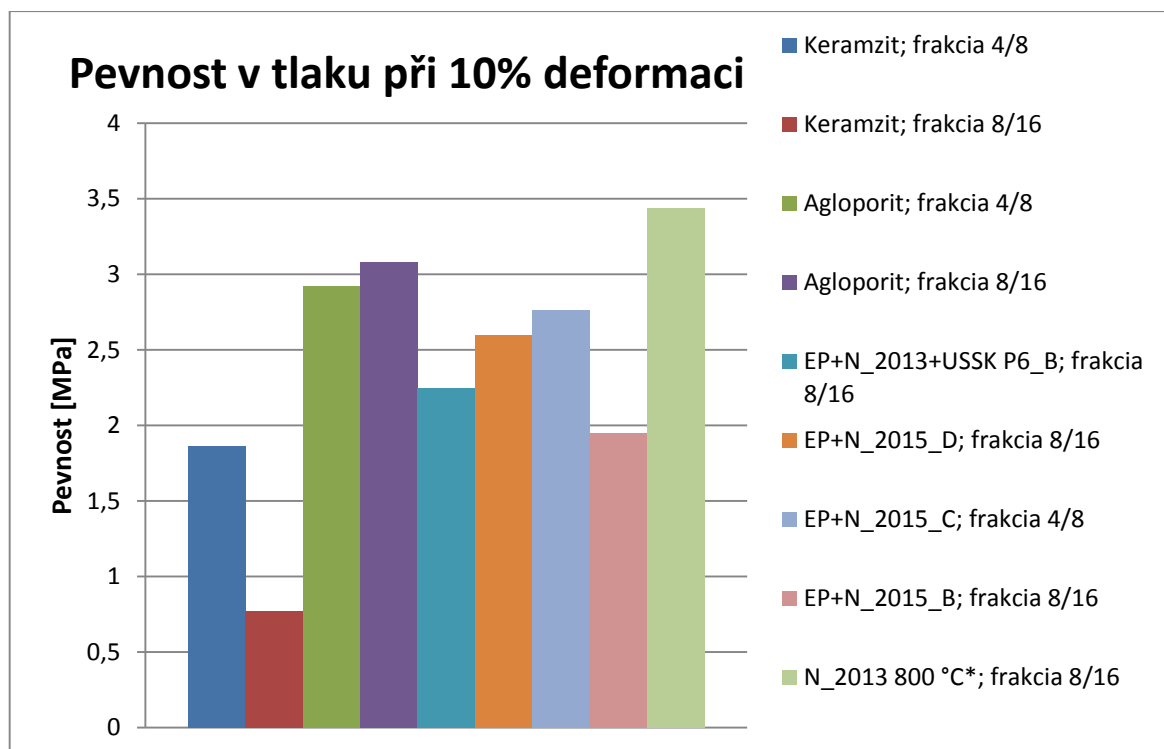
Tabuľka č. 23 – Tabuľka nameraných pevností v tlaku pri 10 % deformácií

Vzorka	frakcia	A [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>10</sub> [N]	CS(10) [MPa]	Objemová hmotnosť [Mg/m <sup>3</sup> ]
Keramzit	4/8	22 500	41 800	1,86	0,62
	8/16	22 500	17 300	0,77	0,48
Agloporit	4/8	22 500	65 700	2,92	1,22
	8/16	22 500	69 200	3,08	-
EP+N_2013+USSK P6_B	8/16	22 500	50 700	2,25	1,36
EP+N_2015_D	8/16	22 500	58 600	2,60	1,25
EP+N_2015_C	4/8	22 500	62 100	2,76	1,27
EP+N_2015_B	8/16	22 500	43 900	1,95	1,37
N_2013 800 °C*	8/16	22 500	77 500	<b>3,44</b>	<b>1,00</b>

Poznámka \* - drvené kamenivo

Ako je uvedené v kapitole 10.5 vzhľadom k tomu, že technicky nebolo možné zaistiť skúšobnú nádobu podľa normy, jej výsledky nemusia korešpondovať s výsledkami udávanými komerčne vyrábanými vzorkami. Preto tejto skúške boli podmienené práve aj komerčne vyrábané produkty s úlohou ich porovnávania s laboratórne vyrábanými vzorkami a vzorkami vyrobené v spoločnosti Svoboda a syn, s. r. o. V tabuľke č. 23 je badateľné, že najvyššiu hodnotu dosahuje vzorka **N\_2013 (drvená)** vypálená pri teplote 800 °C čiže vzorka, ktorá bola laboratórne vyrábaná. Vzorka N\_2013 už v počiatočných fázach výroby preukazovala vysokú mechanickú odolnosť. Tejto skúške bolo podmienená v nadrvenom stave (z vytvorených spečencov) z dôvodu nedostatočného množstva vzorky nespečenej pri tejto teplote. Pri vzorkách nespečených je predpoklad, ešte vyššej pevnosti ako u nadrvených. Navyše nerátajúc

komerčne vyrábaný Keramzit, ktorý aj tak vvkazuje nízku pevnosť, má vzorka N\_2013 (drvená) spomedzi ostatných produktov **najnižšiu** objemovú hmotnosť.



Graf č. 8 – Pevnosti v tlaku na jednotlivých produktoch

## 11.7 Chemická analýza pomocou röntgénového spektrometra

Metóda bola prevedená na všetkých vzorkách.. Táto metóda pracuje s určitou chybou merania a rovnako nedokáže všetky prvky identifikovať. Tieto neidentifikovateľné prvky sú vo výstupe z tejto analýzy označovane ako Bal. Kompletný výstup zo všetkými analyzovanými prvkami a oxidmi je k nahliadnutiu v prílohe č. 9.

K analyzovaným surovinám je vždy uvedená tabuľka s uvedeným percentuálnym podielom jednotlivých prvkov a oxidov. Chemické zloženie po prepočte na oxidické formy je iba **informatívne**, slúži predovšetkým pre porovnanie vzoriek medzi sebou. Súčet týchto prvkov vo forme oxidov je vyšší ako 100 %, čo naznačuje, že sú tieto prvky viazané v iných formách ako oxidy.

Tabuľka č. 24 – Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov a oxidov vo vstupných surovinách N\_2013 a N\_2015 pred výpalom

Vzorka	Prvky [%]				Oxidy [%]				Bal
	K	Si	Ca	P	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
N_2013	15,15	37,07	3,51	1,08	79,32	4,91	18,33	1,00	41,05
N_2015	12,05	36,89	5,61	0,09	78,95	7,86	14,58	1,09	41,66

Tabuľka č. 25 - Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov a oxidov vo vzorke N\_2013 pri všetkých teplotách výpalu

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Prvky [%]				Oxidy [%]				Bal
		K	Si	Ca	P	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
N_2013	800	15,69	36,95	3,77	1,25	79,06	5,28	18,98	1,24	40,13
	850	15,65	37,74	3,71	1,27	80,76	5,19	18,94	0,92	39,89
	900	15,35	37,16	3,61	1,27	79,52	5,10	18,57	1,25	40,57
	1 000	15,49	38,47	3,74	1,32	82,33	5,24	18,75	1,26	38,97

Tabuľka č. 26 – Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov u vybraných hotových produktov

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Prvky [%]					Bal*
		Fe	Ca	K	Al	Si	
EP	900	5,44	3,12	2,68	18,81	25,43	42,68
N_2013	900	2,80	3,53	9,54	10,55	32,53	39,03
+EP	1 000	2,80	3,64	9,53	10,43	33,28	38,42
EP+N_2015_ (A, B)	-	2,28	4,19	9,06	6,91	35,38	40,47
EP+N_2015_ (C, D)	-	2,24	4,10	9,20	7,05	35,91	39,74
EP+N_2013 +USSK P6		3,24	4,36	8,39	10,58	33,08	38,30
Agloporit		5,59	1,75	2,10	22,09	29,47	37,18

Poznámka \* - Hodnota Bal vyjadruje neidentifikovateľné množstvo vo vzorke tak ako prvkov tak aj oxidov



Tabuľka č. 27 – Priemerné množstvo najviac obsadených oxidov u vybraných hotových produktov

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Oxidy [%]					Bal*
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	
EP	900	35,55	54,42	4,37	7,78	3,24	42,68
N_2013	900	19,94	69,61	4,94	4,01	11,54	39,03
+EP	1 000	19,70	71,17	5,10	4,00	11,54	38,42
EP+N_2015_ (A, B)	-	13,06	75,71	5,86	3,28	10,96	40,47
EP+N_2015_ (C, D)	-	13,33	76,85	5,74	3,21	11,13	39,74
EP+N_2013 +USSK P6		19,99	70,80	6,10	4,63	10,15	38,30
Agloporit		41,76	63,07	2,46	7,98	2,55	37,18

Poznámka \* - Hodnota Bal vyjadruje neidentifikovateľné množstvo vo vzorke tak ako prvkov tak aj oxidov

## 11.8 Vyhodnotenie vzoriek pod optickým mikroskopom STM 723

Vyhodnotenie vzoriek pod mikroskopom prebiehalo na FAST. Stanovené veľkosti pórov sú uvedené vo svojej minimálnej a maximálnej dĺžke výskytu v štruktúre vzorky. Tu treba opomenúť, že stanovená hodnota minimálne veľkosti, predstavuje hodnotu, ktorá bola badateľná meracím prístrojom – mikroskopom. V skutočnosti sa v tejto štruktúre vyskytujú aj menšie póry, ktoré nie je možné rozoznať pod týmto prístrojom.

Ďalej je potrebné uviesť, že pod mikroskopom boli vyhodnotené iba vzorky laboratórne vyrábané. Vzhľadom na technológiu výpalu a použitých vstupných surovín sa pri týchto vzorkách vyskytovala sklovitá štruktúra, ktorá vytvárala viditeľné póry pod mikroskopom. Štruktúra vzoriek vyrobených v spoločnosti Svoboda a syn, s.r.o pripomína štruktúru agloporitu (viď obrázok č. ) a tak pod mikroskopom je veľmi neprehľadná.

### 11.8.1 Samotné vzorky N\_2013 pri všetkých teplotných výpaloch

Vzorky N\_2013 boli laboratórne vyrábané na FAST a vypaľované pri teplotách 800, 850, 900 a 1 000 °C. V tabuľke č. 28 je uvedený popis a veľkosti vzniknutých pórov a v grafe č. 2 a 3 je vynesená ich závislosť.

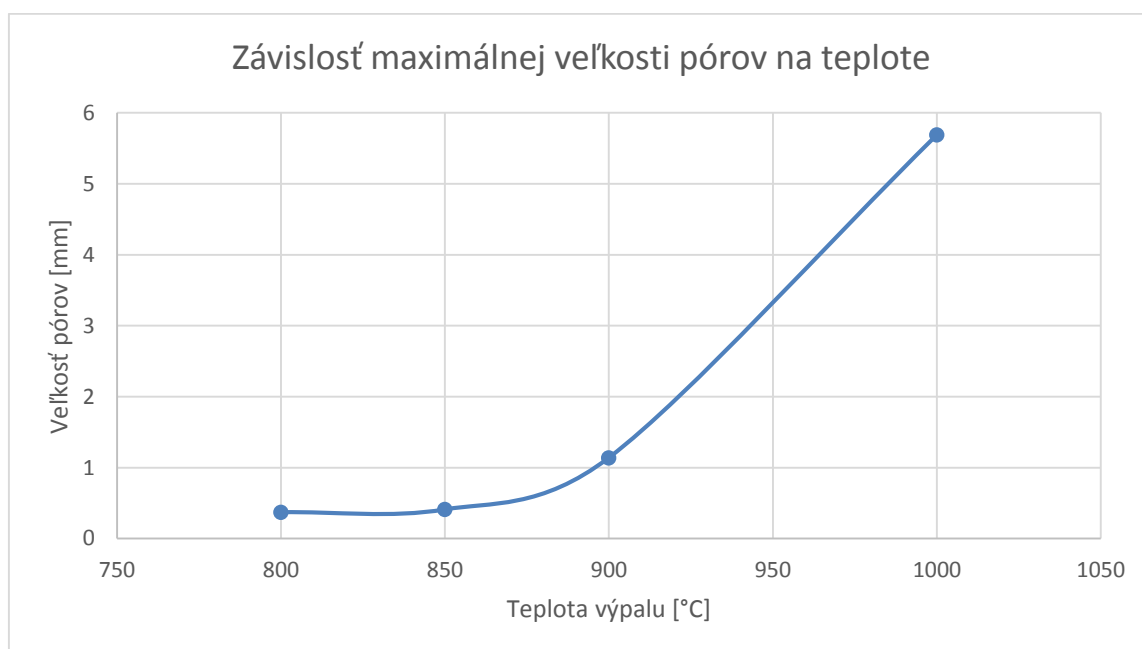
Tabuľka č. 28 – Popis vzoriek N\_2013

Vzorka	Teplota výpalu [°C]	Rozmiestnenie pórov	Minimálna veľkosť pórov [mm]	Maximálna veľkosť pórov [mm]
N_2013	800	pomerne rovnomerné	0,08	0,37
	850	rovnomerné	0,16	0,41
	900	rovnomerné	0,25	1,14
	1 000	pomerne rovnomerné	1,49	5,69

Za pomerne rovnomerné je označené také rozmiestnenie, ktoré tvorí min. 80 % rozmiestnených pórov v uvedenom rozptyle (min-max).

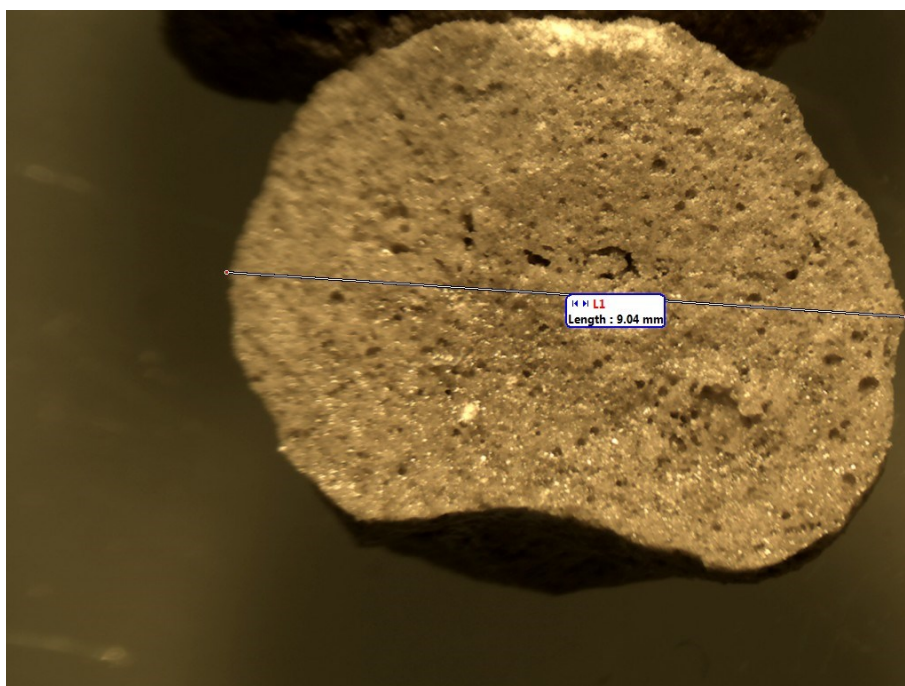


Graf č. 9 – Závislosť minimálnej veľkosti pórov na teplote výpalu

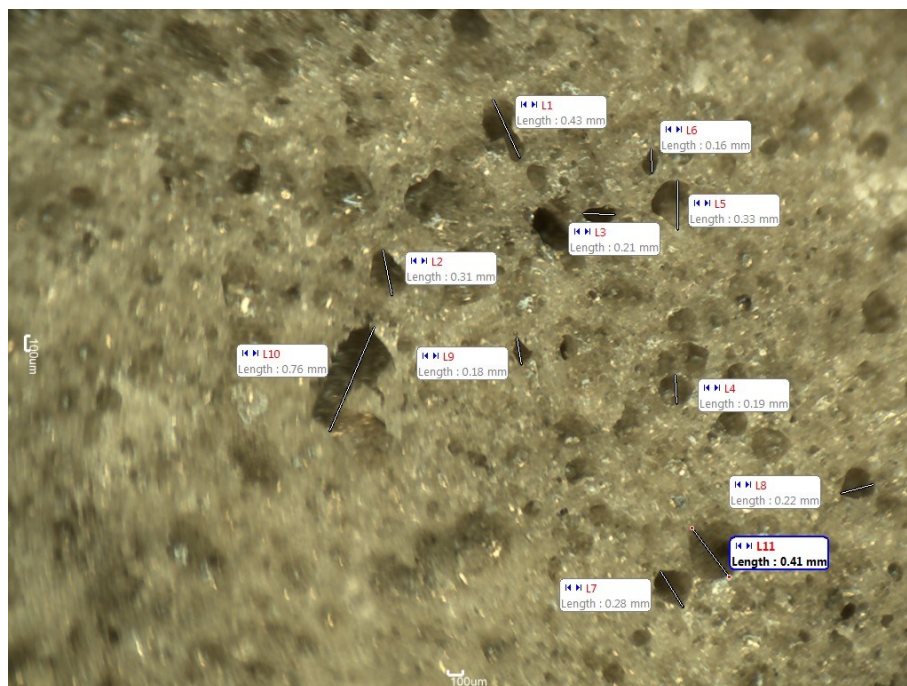


*Graf č. 10 – Závislosť maximálnej veľkosti pórov na teplote výpalu*

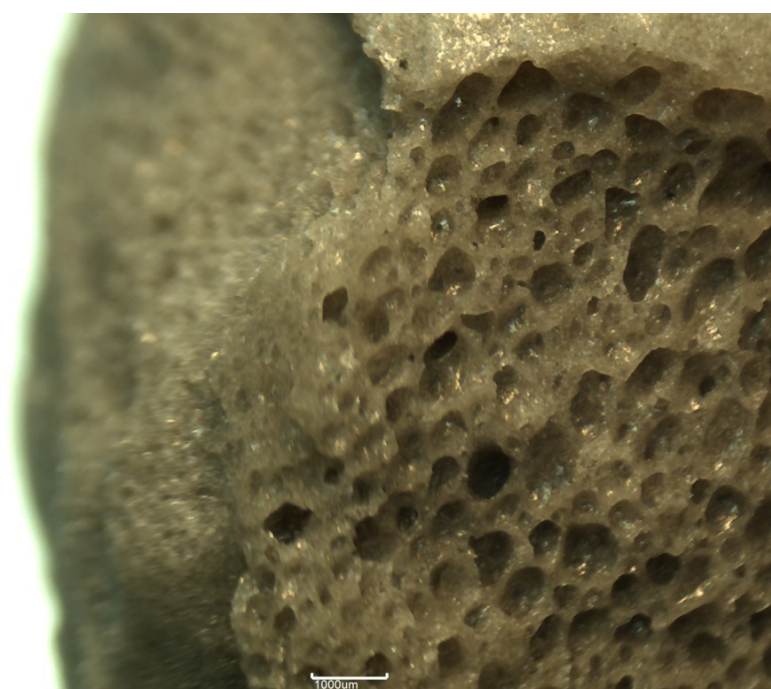
### Fotodokumentácia



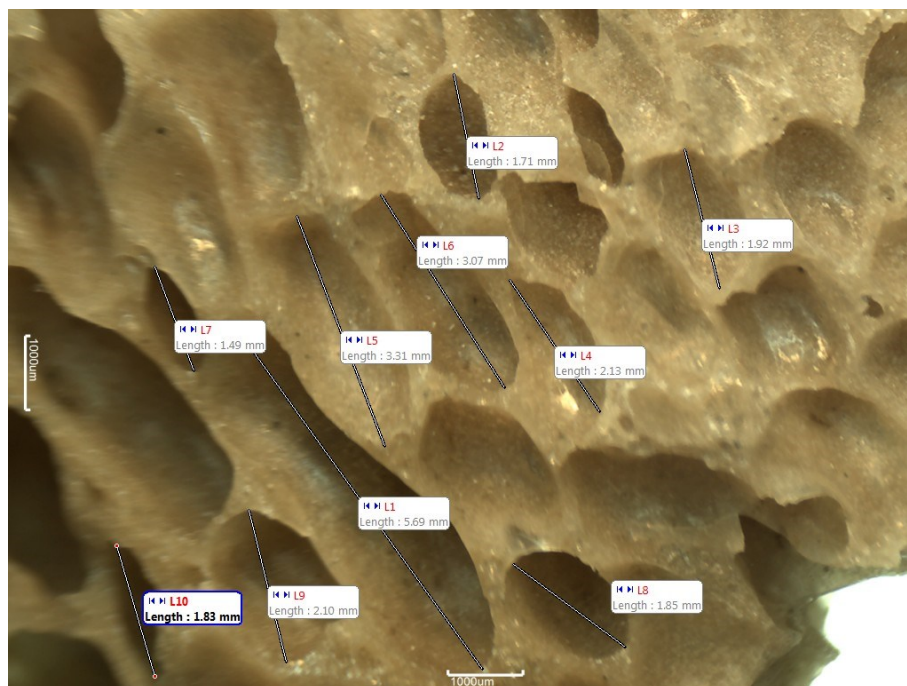
*Obrázok č. 37 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 800 °C*



Obrázok č. 38 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 850 °C



Obrázok č. 39 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 900 °C



Obrázok č. 40 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 1 000 °C

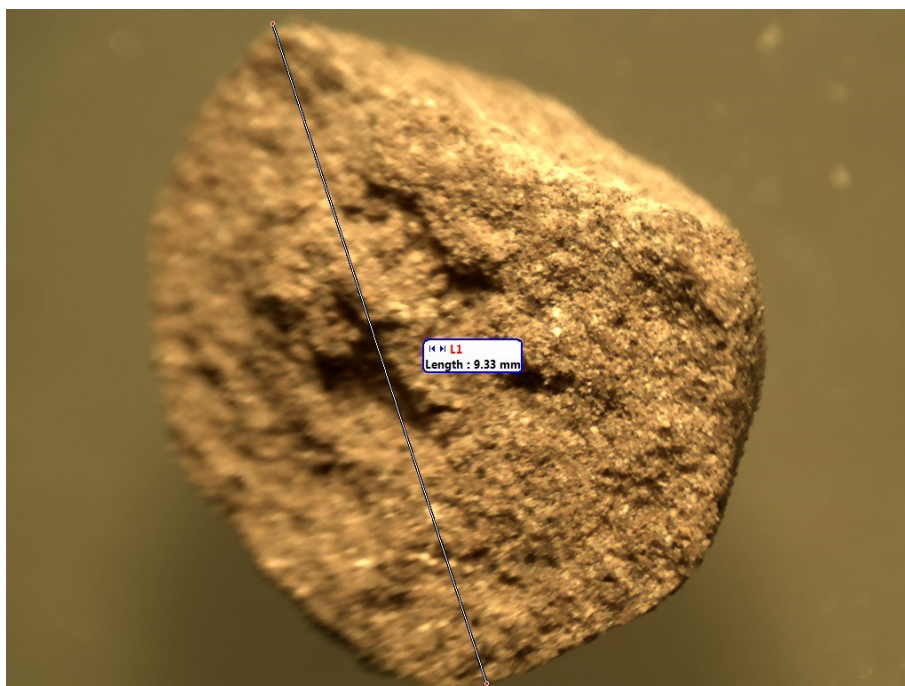
## 11.8.2 Ostatné laboratórne vyrábane vzorky

V nasledujúcich podkapitolách sú vizuálne znázornené produkty vzniknuté kombináciou vstupných surovín EP a N\_2013, či už ich zmiešaním (pomer 1:1) alebo ich obaľovaním.

### 11.8.2.1 EP+N\_2013

Na obrázku č. 38 je znázornený rez vzorkou EP+N\_2013 zmiešaný v pomere 1:1. Pohľad z okulára je pochopiteľne oveľa kvalitnejší ako samotný výstup z mikroskopu (viď obrázok č. 41). Pri pohľade do vnútornej štruktúry je badateľné, že samotný EP ma tendenciu akoby zhľukovať sa a vytvára „výplň“ v sklenej štruktúre, ktorú tvorí N\_2013. Celkovo bol pohľad na túto vzorku cez mikroskop pomerne neprehľadný čo je spôsobené výskytom EP v štruktúre. Rozdiely v štruktúre pri odlišných teplotách výpalu nie sú badateľné.



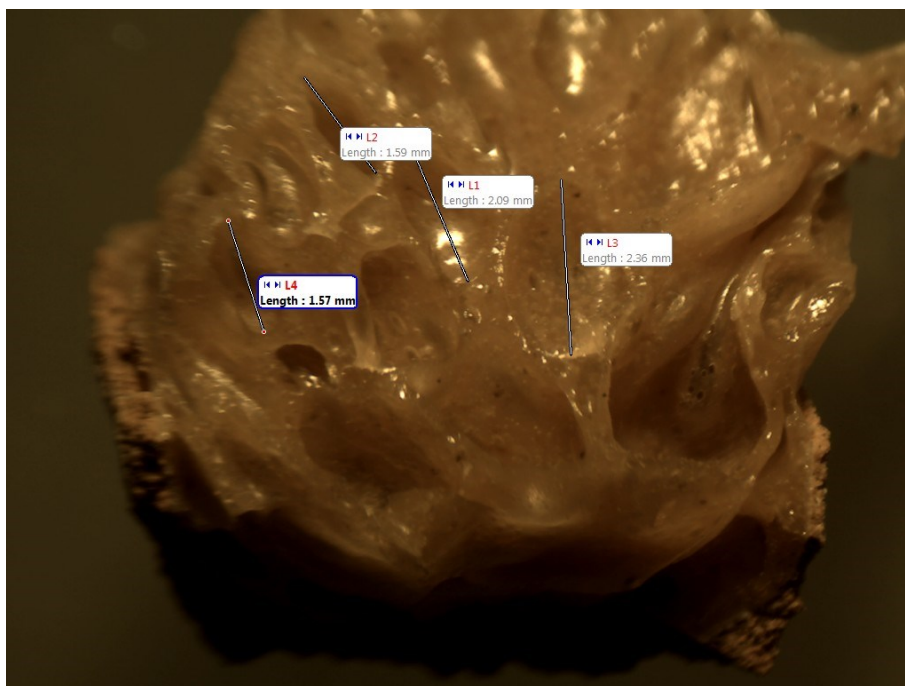


*Obrázok č. 41 – Rez vzorkou EP+N\_2013 pri teplote výpalu 1 000 °C*

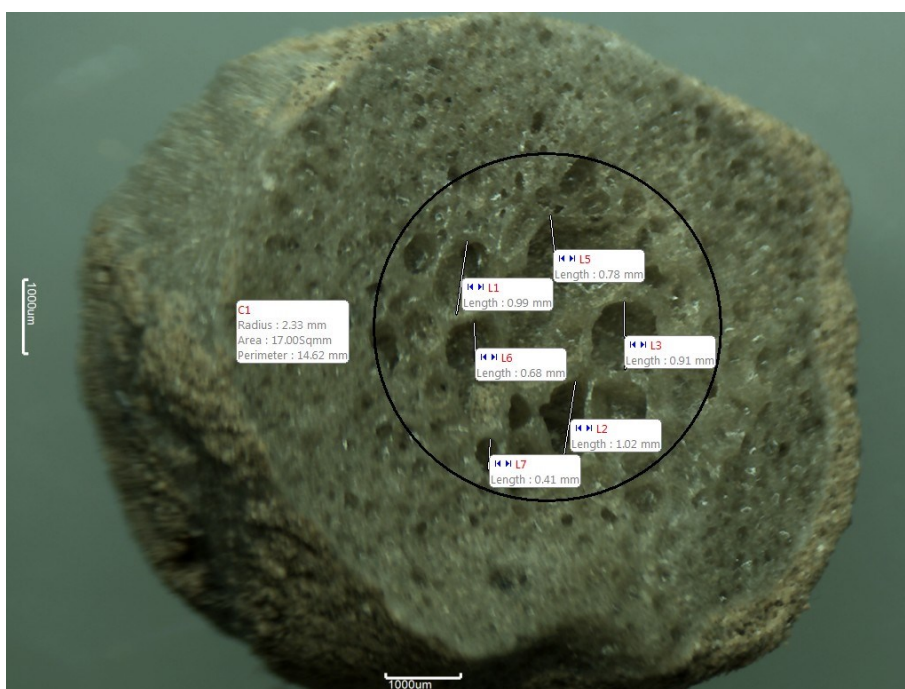
#### **11.8.2.2 N\_2013\_v\_EP**

Po vizuálnej stránke sa tento produkt najviac približuje ku agloporitu. Teplota výpalu prebehla pri 900 a 1 000 °C. U oboch teplotách je možné povedať, že EP tvoril akoby ochrannú vrstvu suroviny N\_2013. Čo sa týka vnútornej štruktúry, tak tá je vzhľadom na teplotu výpalu diametrálne odlišná. Teplota 1 000 °C vytvorila veľmi pórovitú a sklovitú štruktúru (viď obrázok č. 42) pripomínajúcu samotný N\_2013. V miestach kde bola vrstva EP na povrchu N\_2013 zrejme menšia, sa táto štruktúra dostala aj na povrch. Prípadne mohlo dôjsť k nadmernému vnútornému pnutiu vplyvom zväčšujúceho sa objemu vnútornej štruktúry. Jednotlivé zrná boli po výpale spečene v sebe a to najmä v miestach, kde bola na jednotlivých zrnách vrstva EP menšia a tak sa pri vysokej teplote dostával na povrch N\_2013.

Pri teplote výpalu 900 °C je jeho štruktúra odlišná (viď obrázok č. 43). Tu je badateľné, že väčšie póry sú sústredené v jadre samotnej vzorky. Póry v jadre sa pohybujú v rozmedzí 0,41 až 1,02 mm a póry na okraji v rozmedzí 0,16 až 0,34 mm.



Obrázok č. 42 – Štruktúra vzorky N\_2013\_v\_EP pri teplote výpalu 1 000 °C



Obrázok č. 43 – Rez vzorkou N\_2013\_v\_EP pri teplote výpalu 900 °C



## 11.9 Sledovanie výskytu výkvetov

Nadmerná tvorba výkvetov pri použití odpadu (či už vo forme popolčeka alebo nápeku) zo spaľovania biomasy v cementovom, ale i geopolymérnom betóne (viac [23]), bola jedným z dôvodov, ktorá viedla k využitiu tohto odpadu ako hlavnej suroviny pri výrobe spékaného ľahčeného kameniva. Priebeh skúšky prebiehal, v náväznosti na diplomovú prácu [23] tak, že boli vzorky kameniva umiestnené do vody z vodovodného radu a rovnako do vodného roztoku  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  s pH 12,5 (viď obrázok č. 44) s cieľom sledovať prípadný výskyt výkvetov. Vizuálne potom boli jednotlivé vzorky porovnávané s tými, ktoré neboli tomuto prostrediu vystavené.

V priebehu skúšania neboli zistené žiadne stopy po vzniku výkvetov ani na jednom zo skúšaných vzoriek. To ma za príčinu zrejme výpal, ktorý prebehol u všetkých produktov. Prevedená prvková analýza nepreukázala žiadne, prípadne minimálne zmeny v zložení, preto je možné usúdiť, že ovplyvnenie vzniku výkvetov je spôsobené zmenou fázovej štruktúry.



Obrázok č. 44 – Vzorky ponorené vo vodnom roztoku  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  s cieľom sledovania prípadného výskytu výkvetov

## 12. Záver

Vstupnú surovinu pre výrobu pórovitého kameniva predstavoval odpad získaný zo spaľovania biomasy. Cieľom bolo zistiť, či je vôbec možné z tejto suroviny pórovité kamenivo vyrobiť, čo sa v tejto práci nakoniec potvrdilo.

V práci rozlišujeme dve odlišné miesta výroby. V prvom prípade prebiehala takmer celá výroba jednotlivých vzoriek v laboratóriu stavebných hmot na FAST a v druhom prípade prebiehala výroba v oddelení vývoja a výskumu Svoboda a syn, s. r. o. Tieto dve výroby sa líšili najmä v procese výpalu surových nabaľovaných granúl. Výpal laboratórnej výroby prebiehal v elektrickej peci, kde jej technológia spočíva v nastavení cieľovej teploty, izotermickej výdrži a v procese chladenia. Proces výpalu v spoločnosti Svoboda a syn, s. r. o prebiehal na vertikálnej peci, kde hlavné atributy výroby predstavujú hrúbka násypu (vypaľovaného materiálu) a podsypu, doba zapaľovania a prívod vzduchu. Oba procesy výroby sú opísané v tejto práci.

V priebehu tejto práce došlo k zmene technológie spaľovania biomasy vo Velkom Karlově a tak v procese výroby sa objavila nová vstupná surovina. Tá bola doplnená o ďalšiu vstupnú surovinu získanú zo spaľovne biomasy Rajec. Celkovo do procesu výroby zasahovali štyri odpadné suroviny: odpad získaný po spaľovaní biomasy z roku 2013 (N\_2013), odpad získaný po spaľovaní biomasy z roku 2015 (N\_2015), elektrárenský popolček Dětmárovice (EP) a odpad získaný po spaľovaní biomasy Rajec – Bineko.

V tejto práci sa stretávame s tým, že nebolo možné vykonať niektoré normové skúšky (ako napr. pevnosť v tlaku) z dôvodu nedostatočného množstva daného materiálu u všetkých produktov. S týmto dôvodom sa stretávame najmä u vzoriek laboratórne vyrábaných. Ako je v práci opomenuté príprava vstupnej suroviny spočíva mimo iného v jej namletí. Pri laboratórnej výrobe bol pri mletí vstupných surovín použitý planétový mlyn. Toto mletie bolo časovo náročné z dôvodu malého množstva mletia jednej dávky a to ovplyvňovalo konečné množstvo surových nabaľovaných granúl.

V prvom bode bolo hľadené na chovanie jednotlivých vzoriek po jej nabaľovaní. To je dôležité, pretože vzorky v tomto stave musia preukazovať určitú mechanickú odolnosť či už z dôvodu manipulácie alebo kvôli vystaveniu vysokej teplote. Po výpale jednotlivých produktov sa hodnotila ich mechanická odolnosť proti narušeniu štruktúry. V tomto ohodnotení najhoršie vystupovala vstupná surovina **Bineko**, ktorú bolo možné pri teplote výpalu 800 a 1 000 °C stlačením rozdrviť. Pri teplote výpalu 1 100 °C prejavovala o niečo lepšiu odolnosť, ale nie dostatočnú na to aby bola podmienená ďalším skúškam.

Do **laboratórneho výpalu** vstupovalo viacero faktorov na výrobu kvalitných produktov. V prvom rade zvolenie maximálnej teploty výpalu. Tento význam bol najlepšie badateľný u vzoriek **N\_2013**, vyznačujúcich sa sklovitou štruktúrou. So zvyšujúcou sa teplotou bola ich štruktúra viac sklovitá a rovnako dochádzalo k nárastu veľkosti pórov a s tým spojený **nárast objemových hmotností**. Na základe týchto poznatkov sa preukázala vhodná kombinácia **EP+N\_2013** alebo **N\_2013\_v\_EP**. U vzorky EP+N\_2013 samotnému procesu nabaľovania predchádzalo zmiešanie jej vstupných surovín v pomere 1:1. Tieto vzorky po výpale vytvárali na pohľad hutnú štruktúru, EP mal tendenciu akoby vyplňať vzniknutú sklovitú štruktúru suroviny N\_2013. Výpal týchto produktov prebiehal pri teplotách 900 a 1000°C (výrazne rozdiely v štruktúre v závislosti na teplote nebadateľ).

U vzorky **N\_2013\_v\_EP** prebiehal samotný proces nabaľovania tak, že najskôr bola nabaľovaná vzorka N\_2013 a následne pri dosiahnutí dostatočnej veľkosti bola pridávaná surovina EP. Ta vytvorila na povrchu N\_2013 „ochranný“ obal, ktorý plnil svoju úlohu aj pri samotnom procese výpalu. Výsledný produkt po výpale sa vyznačoval spečeným povrchom a sklovitou pórovitou vnútornou štruktúrou. Produkty boli vypaľované pri teplote **900 a 1 000 °C**. Tu je badateľná aj závislosť medzi teplotou výpalu a charakterom vnútornej štruktúry. Pri teplote 1 000 °C bola vnútorná štruktúra produktu veľmi pórovitá a sklovitá a pri narušení vonkajšieho obalu dochádzalo v niektorých prípadoch k jej úplnej deštrukcii. Prierez vzorky N\_2013\_v\_EP pri teplote výpalu 900 °C už na pohľad tvoril hutnejšiu štruktúru. Väčšie póry boli sústredené v jadre produktu. Povrch nebol tak výrazne spečený ako pri teplote 1 000 °C. Tento produkt vykazoval aj vyššiu objemovú hmotnosť.

Vzorka **EP** sa s pribúdajúcou teplotou výpalu vyznačovala lepšou mechanickou odolnosťou. Pri teplote 800 °C ju bolo možné mechanicky rozdrviť v rukách ale pri vyššej teplote už bola mechanicky odolnejšia. Zaujímavý je aj sledovanie farebné zmeny s pribúdajúcou teplotou výpalu. Pri teplote 800 °C sa vyznačuje hnedou farbou a pri teplote 1 100 °C tehlovou až červenou farbou. To je spôsobené zvýšeným obsahom železa.

Jeden z ďalších spozorovaných faktorov vstupujúcich pri laboratórnej výrobe je **hrúbka vrstvy vsádzky** vkladanej do elektrickej pece. Tento fakt bol spozorovaný pri opätovnej výrobe produktu N\_2013 s teplotou výpalu 800 °C ale s väčšou hrúbkou vrstvy vsádzky. Z celej vsádzky sa všetky zrná spiekli dohromady. Iba malá časť z povrchu spečenca šla mechanicky oddeliť, zvyšok sa celý nadržil na požadovanú frakciu. Vznik spečencov bol v prvotných analýzach odvolávaný na náchylnosť vsádzky na proces chladenia po výpale, ale to sa v neskoršej fáze vylúčilo. Rovnako za účelom eliminovať výskyt spečencov, pri teplote 800 °C

a pri zachovaní rovnakej vrstvy vsádzky, bola znížená izotermická výdrž na 10 minút. Vznik spečencov bol iba čiastočne eliminovaný a to v zmysle, že hoci sa zrná spiekli väčšina išla mechanicky oddeliť.

Vzhľadom k tomu, že technologický postup výpalu vzoriek vyrobených v spoločnosti Svoboda a syn, s. r. o bol odlišný, muselo samotnému procesu výroby predchádzať stanovenie podielu spáliteľných látok vstupných surovín. Surovina N\_2013 vykazovala najmenší podiel spáliteľných látok a tak jej výrobe predchádzalo zvýšenie tohto podielu pridaním okrem EP aj klasický úletový popolček, v práci označovaný ako USSK P6.

V návaznosti na prácu [23] bolo pozorované u všetkých vyrobených vzorkách výskyt prípadných výkvetov. Výkveti neboli badateľné u žiadnej vzorky a tak zrejme vplyvom výpalu sa podaril tento výskyt eliminovať.

Zo zistených poznatkov tejto práce je možné konštatovať, že v reakcii o výrobe kameniva s najnižšou objemovou hmotnosťou a zároveň najvyššou pevnosťou sa tomuto najviac približuje vzorka **N\_2013** vypálená pri teplote **800 °C (drvená)**, čiže odpad, ktorý bol získaný zo spaľovania biomasy Velké Karlovice. Vyznačuje sa objemovou hmotnosťou **1,00 Mg/m<sup>3</sup>** a pevnosťou v tlaku **3,44 MPa**. V tomto ukazovateli predstihla aj komerčne vyrábané kamenivo Liapor alebo Agloporit, ktoré boli podmienené rovnakým procesom skúšania. Ako je uvedené v práci, hodnota pevnosti v tlaku nemusí korešpondovať so skutočnou hodnotou a tak bola pre porovnanie prevedená pevnosť aj na týchto vzorkách. Navyše vzorka **N\_2013 (nenadrvená)** pri teplote výpalu **800 °C** vyказuje takmer nulovú **nasiakavosť**, vďaka svojej povrchovo dobre uzavretej sklovitej štruktúre.

Hoci vzorka vyказuje pomerne dobré vlastnosti otázne je, či by sa aj po ekonomickej stránke takýto proces výroby vyplatil. Navyše odpad z ktorého je vyrábaný sa nevyskytuje v takom množstve aby tvoril vstupnú surovinu v priemyselnej výrobe. Spoločnosť Svoboda a syn, s. r. o pracuje na vývoji porovitého kameniva agloporitu, ekonomicky výhodnejšiou a teda vhodnejšou metódou v praxi.

Predmetom návaznosti na túto prácu by mohlo byť sledovanie chovania, tohto kameniva v betónovej zmesi ako ľahkého betónu.

### **13. Pod'akovanie**

Rád by som sa poďakoval Ing. Filipovi Khestlovi Ph.D. za odborné vedenie a cenné rady, ktoré mi poskytol počas písania tejto práce.

Zvláštne poďakovanie patrí oddeleniu vedy a výskumu Svoboda a syn, s. r. o za spoluprácu a vyhotovenie jednotlivých vzoriek. Za umožnenie prác na granulačnom tanieri patrí zvlášť poďakovanie pánovi doc. Ing. Jiří Botula Ph.D. z oddelenia úpravy nerastrných surovín na Fakulte hornicko-geologickej (VSB – TUO) a Centrumu AdMas v Brne konkrétne oddeleniu Technológie stavebných hmôt za umožnenie mletia vstupných surovín.

V neposlednom rade by som chcel poďakovať vedeniu v spaľovni biomasy Velke Karlovice a Rajec za poskytnutie vstupných surovín

Rovnako by som rád poďakoval laboratóriu stavebných hmôt, na čele s vedúcim laboratórií Ing. Liborom Židkom za umožnenie vykonávania odborných skúšok, potrebných na zhotovenie tejto práce.

## 14. Zoznam použitých prameňov

### Technické normy:

- [1] ČSN EN 450 – 1: Popolček do betónu – Časť 1: Definície, špecifikácie a kritéria zhody, Český normalizačný inštitút, 2008
- [2] ČSN EN 13055 – 1: Pórovité kamenivo – Časť 1: Pórovité kamenivo do betónu, malty a injektážnej malty, Český normalizačný inštitút, 2004
- [3] ČSN 72 1510: Kamenivo pre stavebné účely. Názvoslovie a klasifikácia, Český normalizačný inštitút, 2004
- [4] ČSN EN 1097 - 6: Skúšanie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva – Časť 6: Stanovenie objemovej hmotnosti zrn a nasiakavosti, Český normalizačný inštitút, 2014
- [5] ČSN EN 1097 - 3: Skúšanie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva – Časť 3: Stanovenie sypnej hmotnosti a medzerovitosti voľne sypaného kameniva, Český normalizačný inštitút, 1999
- [6] ČSN 72 2113: Stanovenie mernej hmotnosti cementu, Český normalizačný inštitút, 1989
- [7] ČSN EN 1097 - 11: Skúšanie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva – Časť 11: Stanovenie stlačiteľnosti a pevnosti v tlaku pórovitého kameniva, Český normalizačný inštitút, 2014

### **Literatúra:**

- [8] PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5.
- [9] MATOUŠEK, Milan. *Lehké stavební látky II.* 3., opravené. Praha: STNL - Nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, 113 02 Praha 1, 1985.
- [10] Možnosti energetického využití biomasy: sborník příspěvků ze semináře : Penzion Beskydy, Visalaje 27.-29.4.2005. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2005, 175 s. ISBN 80-248-0834-x
- [11] SVOBODA, Luboš. *Stavebné materiály.* 1 vyd. Bratislava: Jaga group, s. r. o, 2005.
- [12] ADÁMEK, Jiří, Jan KOUKAL a Bohumil NOVOTNÝ. *Stavební materiály.* Brno: CERM, 1997, 205 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0631-3.

### **Internetové odkazy:**

- [13] Beton: Štúdium fyzikálno-mechanických parametrov ľahkých vysokopevnostných betónov s pórovitým kamenivom na bázy spekaných popolčekov [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o, 2010 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-4-54.pdf>
- [14] Využitie elektrárenského popolčeka pri výrobe betónu [online]. : 7 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: [http://www.betonracio.sk/betonracio/images/stories/odborne\\_clanky/2001\\_1.pdf](http://www.betonracio.sk/betonracio/images/stories/odborne_clanky/2001_1.pdf)
- [15] Popolček a jeho použitie do betónu [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: [http://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/05/popilek\\_a\\_jeho\\_pouziti\\_do\\_betonu.pdf](http://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/05/popilek_a_jeho_pouziti_do_betonu.pdf)
- [16] Beton: Granulovaná vysokopevná struska [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o, 2015 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-4-54.pdf>
- [17] Energosádrovec [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/%20energoadrovec.html?id=124>



- [18] Energetické využívání biomasy na Jižní Moravě, realizace centrálního tepelného zdroje ve Velkém Karlově [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuzivani-biomasy-na-jizni-morave-realizace-centralniho-tepelneho-zdroje-ve-velkem-karlove>
- [19] VOLÁKOVÁ, Pavlína, Martin MÍKA, Břetislav KLÁPIŠTĚ a Vladimír VERNER. Biomasová výtopna Žlutnice - efektivní propojení praxe s výzkumem [online]. [cit. 2015-11-30]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasova-vytopna-zlutice-efektivni-propojeni-praxe-s-vyzkumem>
- [20] Beton: Lhký vysokopevnostný beton [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o, 2013 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2013-6-54.pdf>
- [21] Peletizačná linka [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: [http://www.ivms.cz/pelet\\_linka\\_popis.html](http://www.ivms.cz/pelet_linka_popis.html)

#### **Diplomové práce:**

- [22] ČERNÝ, Vít. Optimalizace parametrů samovýpalu spékaného popílkového kameniva. Brno, 2006. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Prof. Ing. Drochytka Rostislav, CSc.
- [23] ŠULKOVÁ, Veronika. Využití skelného nápeku ze spalování biomasy. Ostrava, 2014. VŠB-TUO FAST. Vedoucí práce Ing. Filip Khestl Ph.D.

## **Zoznam obrázkov**

Obrázok č. 1 – Kotolňa s komínom a akumulátorom tepla v obci Veľke Karlovice

Obrázok č. 2 – Už podrvený odpad po spaľovaní biomasy z roku 2013

Obrázok č. 3 – Ojedinelý spečenec získaný po spaľovaní biomasy z roku 2015

Obrázok č. 4 – Technologická schéma zariadení pri výrobe surových granúl

Obrázok č. 5 – Umiestnenie prívodu vody a popolčeka pri výrobe surových granúl

Obrázok č. 6 – Technologická schéma výroby popolčekového agloporitu v šachtovej peci – systém Terlit

Obrázok č. 7 – Výrobná linka na popolčekový agloporit spečený na aglomeračnom rošte

Obrázok č. 8 – Rozmiestnenie teplôt pri výpale agloporitu na aglomeračnom rošte

Obrázok č. 9 – Schematické znázornenie postupu slinovacieho pásma na aglomeračnom rošte

Obrázok č. 10 – Čelust'ový drvič

Obrázok č. 11 – Planétový mlyn

Obrázok č. 12 – Laboratórny granulačný tanier

Obrázok č. 13 – Laboratórny granulačný tanier pri výrobe

Obrázok č. 14 – Vyznačenie tzv. ideálnej oblasti

Obrázok č. 15 – Znázornenie prikladania pomocnej plastovej lopatky

Obrázok č. 16 – Surové nabaľované granule zo samotného nápeku N\_2013

Obrázok č. 17 – Surové granule vzorky N\_v\_EP

Obrázok č. 18 – Elektrická pec v laboratórium na FAST

Obrázok č. 19 – N\_2013 pri teplote výpalu 800 °C a pomalom chladení

Obrázok č. 20 – Spečenie zŕn kameniva pri väčšej vrstve vsádzky vkladanej do pece

Obrázok č. 21 – N\_2013 pri teplote výpalu 850 °C a pomalom chladení

Obrázok č. 22 – N\_2013 pri teplote výpalu 900 °C a pomalom chladení

Obrázok č. 23 – N\_2013 pri teplote výpalu 1 000 °C a pomalom chladení

Obrázok č. 24 – Vzorka N\_2013\_v\_EP po výpale pri teplote 1 000 °C

Obrázok č. 25 – Vzorka N\_2013+EP po výpale pri teplote 1 000 °C

Obrázok č. 26 – Bineko + EP v pomere 1:1 pri teplote výpalu 1 000 °C

Obrázok č. 27 – Bineko po výpale pri teplote 1 100 °C

Obrázok č. 28 – Vzorka EP pri jednotlivých teplotách výpalu, z pravej strany sú to nasledovné teploty: 800, 900, 1 000 a 1 100 °C

Obrázok č. 29 – Schéma laboratórnej linky na výrobu agloporitu

Obrázok č. 30 – Vertikálna pec pri zapaľovaní vsádzky

Obrázok č. 31 – Uzavretá laboratórna pec

Obrázok č. 32 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek

Obrázok č. 33 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek frakcie 4/8

Obrázok č. 34 – Fotodokumentácia vyrobených vzoriek frakcie 8/16

Obrázok č. 35 – Fotodokumentácia vypáleného kameniva

Obrázok č. 36 - Röntgenový spektrometer

Obrázok č. 37 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 800 °C

Obrázok č. 38 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 850 °C

Obrázok č. 39 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 900 °C

Obrázok č. 40 – Prierez vzorky N\_2013 pri teplote výpalu 1 000 °C

Obrázok č. 41 – Rez vzorkou EP+N\_2013 pri teplote výpalu 1 000 °C

Obrázok č. 42 – Štruktúra vzorky N\_2013\_v\_EP pri teplote výpalu 1 000 °C

Obrázok č. 43 – Rez vzorkou N\_2013\_v\_EP pri teplote výpalu 900 °C

Obrázok č. 44 – Vzorky ponorené vo vodnom roztoku  $\text{Ca(OH)}_2$  s cieľom sledovania prípadného výskytu výkvetov

## **Zoznam tabuliek**

- Tabuľka č. 1 – Požiadavky na vlastnosti popolčeka do betónu podľa ČSN EN 450
- Tabuľka č. 2 – Výhrevnosť pevnej biomasy v závislosti na obsahu vody
- Tabuľka č. 3 – Prehľad druhov kameniva používaného pre výrobu ľahkých betónov
- Tabuľka č. 4 – Základné parametre keramzitového kameniva
- Tabuľka č. 5 – Všeobecné vlastnosti ľahkých betónov
- Tabuľka č. 6 – Popis a označenie vyrobených vzoriek
- Tabuľka č. 7 – Vypálené vzorky a ich proces výroby
- Tabuľka č. 8 – Prehľad spáliteľných podielov jednotlivých surovín
- Tabuľka č. 9 – Prehľad vyrobených vzoriek
- Tabuľka č. 10 – Zloženie a množstvo surovinovej zmesi
- Tabuľka č. 11 – Podmienky pri výpale
- Tabuľka č. 12 – Zloženie a množstvo surovinovej zmesi pre frakciu 4/8
- Tabuľka č. 13 – Zloženie a množstvo surovinovej zmesi pre frakciu 8/16
- Tabuľka č. 14 – Zloženie vstupných surovín
- Tabuľka č. 15 – Najmenší objem nádoby v závislosti na veľkosti zrna kameniva
- Tabuľka č. 16 – Výsledky sypaných hmotností vstupných surovín v namletom stave
- Tabuľka č. 17 – Merné hmotnosti vstupných surovín
- Tabuľka č. 18 – Objemové hmotnosti vzoriek laboratórnej výroby
- Tabuľka č. 19 – Vzorky vyrobené v oddelení výskumu a vývoja Svoboda a syn. s. r. o
- Tabuľka č. 20 – Výsledky sypaných hmotností a medzerovitosti vyrobených produktov
- Tabuľka č. 21 – Merná hmotnosť a pórovitosť nameraných vzoriek
- Tabuľka č. 22 – Hodnoty nasiakavosti jednotlivých produktov
- Tabuľka č. 23 – Tabuľka nameraných pevností v tlaku pri 10 % deformácií
- Tabuľka č. 24 – Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov a oxidov vo vstupných surovinách N\_2013 a N\_2015 pred výpalom
- Tabuľka č. 25 – Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov a oxidov vo vzorke N\_2013 pri všetkých teplotách výpalu

Tabuľka č. 26 – Priemerné množstvo najviac obsadených prvkov u vybraných hotových produktov

Tabuľka č. 27 – Priemerné množstvo najviac obsadených oxidov u vybraných hotových produktov

Tabuľka č. 28 – Popis vzoriek N\_2013

## 15. Prílohy

- Príloha č 1      Protokol o výrobe vzorky EP+N\_2015 (A, B) so 6,5 % spáliteľným podielom
- Príloha č 2      Protokol o výrobe vzorky EP+N\_2015 (C, D) so 7,5 % spáliteľným podielom  
(frakcia 4/8)
- Príloha č 3      Protokol o výrobe vzorky EP+N\_2015 (C, D) so 7,5 % spáliteľným podielom  
(frakcia 8/16)
- Príloha č. 4      Protokol o výrobe vzorky EP+N\_2013+USSK P6 (A, B) so 6,5 % spáliteľným  
podielom
- Príloha č. 5      Protokol o vlastnostiach suroviny USSK P6
- Príloha č. 6      Protokol o vlastnostiach suroviny N\_2013
- Príloha č. 7      Protokol o vlastnostiach suroviny EP
- Príloha č. 8      Protokol o vlastnostiach suroviny N\_2015
- Príloha č. 9      Kompletný výstup zo všetkým analyzovanými prvkami a oxidmi

## PROTOKOL VÝPALU KAMENIVA - AGLOPORIT VSB 2015-01

### OBJEDNATEL:

**VSB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební**  
**Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb**  
**Ostrava - Poruba 708 33, L. Poděšť 1875/17**  
**Ing. Filip Khestl, Ph.D.**  
**Email: [fillip.khestl@vsb.cz](mailto:fillip.khestl@vsb.cz)**

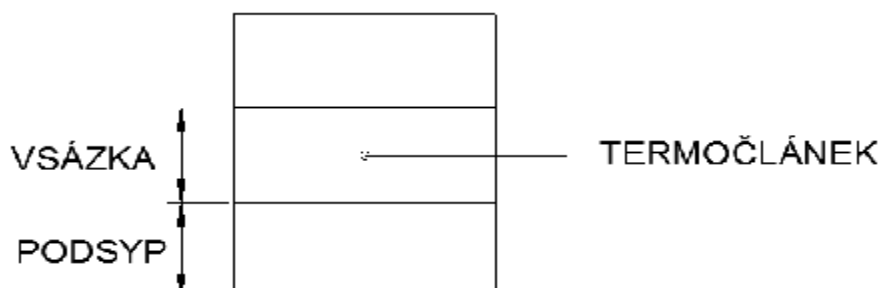
### ZHOTOVITEL:

**Svoboda a syn, s.r.o.**  
**Oddělení výzkumu a vývoje (Rybkova 17, Brno)**  
**Brno 620 00, Jahodová 524/62**  
**Ing. Michal Batelka, Ph.D.**  
**Email: [michal.batelka@sasbrno.cz](mailto:michal.batelka@sasbrno.cz)**

OZNAČENÍ VÝPALU:	151112_I_D+N_6,5%_20CM_350Pa
TEPLOTA OKOLÍ (°C):	6
VÝŠKA VSÁZKY/PODSYPU (cm):	20/20
OBSAH SPALITELNÝCH LÁTEK (%):	6,5
PODTLAK V PECI (Pa):	350
ZPŮSOB GRANULACE:	PELETIZAČNÍ TALÍŘ 1,2m
POUŽITÉ VYPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ:	PEC VERTIKAL V2.0
VÝPAL PROVEDL:	Kovács, Stránský
ZAPALOVACÍ MEDIUM/VÝHŘEVNOST	Zemní plyn / 33,5 MJkg <sup>-3</sup>
DOBA ZAPALOVÁNÍ (min)	10
POZNÁMKA:	

SLOŽENÍ SUROVINOVÉ SMĚSI:		Označení	Ztráta žíháním (%)	Množství (kg)
Surovina 1:	popílek Dětmárovice (dodalo VSB)	<i>D</i>	4,0	14,0
Surovina 2:	popílek - z biomasy (dodalo VSB)	<i>N</i>	9,7	11,0
Pojivo:	voda	<i>V</i>		2,0

### SCHEMA VÝPALU:





Měření teploty uvnitř vsázky je neúplné, při výpalu došlo k poškození čidla a teploty nad hodnotou cca 700 °C nejsou zobrazeny. Teplota ve vsázce při výpalu se vzhledem k nastaveným podmínkám může pohybovat v rozmezí 1100 - 1200°C.

## ZÁVĚR

Vypalovaná surovina se sestávala ze směsi dvou druhů popílků (D - popílek z elektrárny Dětmarovice) a (N - popílek z biomasy, s vyšším podílem  $K_2O$ ) a záměsové vody. Granulace byla provedena na peletizačním talíři, tak aby výsledná vsázka měla kulovitý tvar v rozmezí granulometrie 4-16 mm. Tento zkušební, resp. ověřovací výpal byl proveden s ohledem na dodané množství vsázky při množství 25 kg. Obsah spalitelných látek byl s ohledem na vlastnosti vstupních surovin zvolen při 6,5%. V části vypálené vrstvy kameniva se výpalem a podmínkami vytvořil jeden větší spek s lehkou rozdržitelností. Výpal i podmínky výpalu lze považovat za vhodné.



**FOTODOKUMENTACE**



## PROTOKOL VÝPALU KAMENIVA - AGLOPORIT VSB 2015-03

### OBJEDNATEL:

**VSB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební**  
**Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb**  
**Ostrava - Poruba 708 33, L. Poděšť 1875/17**  
**Ing. Filip Khestl, Ph.D.**  
**Email: [fillip.khestl@vsb.cz](mailto:fillip.khestl@vsb.cz)**

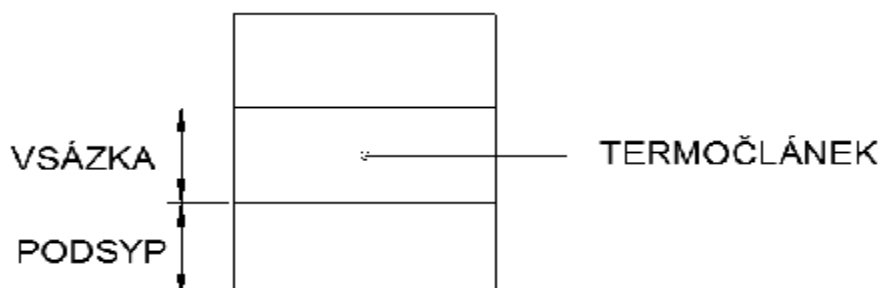
### ZHOTOVITEL:

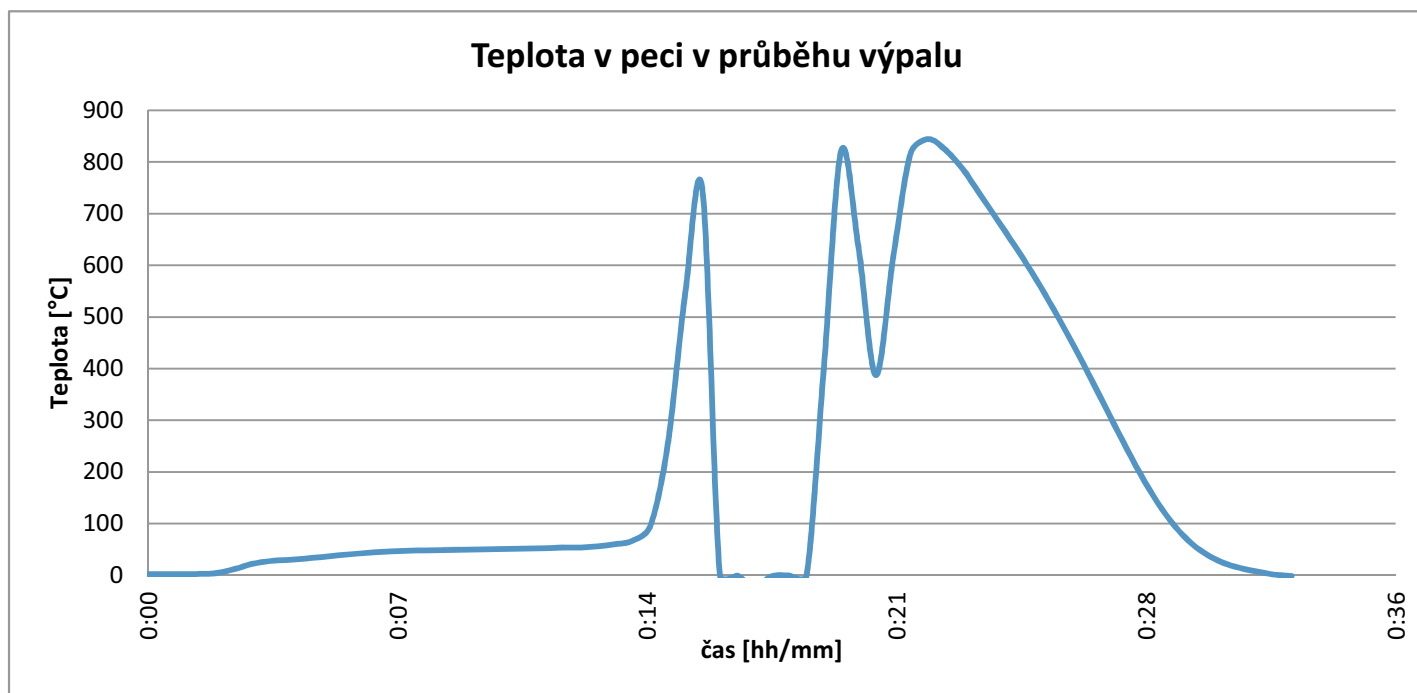
**Svoboda a syn, s.r.o.**  
**Oddělení výzkumu a vývoje (Rybkova 17, Brno)**  
**Brno 620 00, Jahodová 524/62**  
**Ing. Michal Batelka, Ph.D.**  
**Email: [michal.batelka@sasbrno.cz](mailto:michal.batelka@sasbrno.cz)**

OZNAČENÍ VÝPALU:	151113_I_D+N_7,5%_20CM_350Pa
TEPLOTA OKOLÍ (°C):	6
VÝŠKA VSÁZKY/PODSYPU (cm):	20/20
OBSAH SPALITELNÝCH LÁTEK (%):	7,5
PODTLAK V PEČI (Pa):	350
ZPŮSOB GRANULACE:	PELETIZAČNÍ TALÍŘ 1,2m
POUŽITÉ VYPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ:	PEC VERTIKAL V2.0
VÝPAL PROVEDL:	Kovács, Stránský
ZAPALOVACÍ MEDIUM/VÝHŘEVNOST	Zemní plyn / 33,5 MJkg <sup>-3</sup>
DOBA ZAPALOVÁNÍ (min)	10
POZNÁMKA:	

SLOŽENÍ SUROVINOVÉ SMĚSI:		Označení	Ztráta žiháním (%)	Množství (kg)
Surovina 1:	popílek Dětmárovice (dodalo VSB)	<i>D</i>	4,0	9,7
Surovina 2:	popílek - zbiomasy (dodalo VSB)	<i>N</i>	9,7	15,4
Pojivo:	voda	<i>V</i>		2,0

### SCHEMA VÝPALU:





Teploty nad hodnotou cca 800 °C nejsou z dříve uvedených důvodů zobrazeny. Teplota ve vsázce při výpalu se vzhledem k nastaveným podmínkám může pohybovat v rozmezí 1200 - 1300°C.

## ZÁVĚR

Vypalovaná surovina se sestávala ze směsi dvou druhů popílků (D - popílek z elektrárny Dětmárovice), (N - popílek z biomasy, s vyšším podílem K<sub>2</sub>O) a záměsové vody. Granulace byla provedena na peletizačním talíři, tak aby výsledná vsázka měla kulovitý tvar v rozmezí granulometrie 4-16 mm. Tento zkušební, resp. ověřovací výpal byl proveden s ohledem na dodané množství vsázky při množství 25 kg. Výsledky předchozích činností naznačily, že pro podmínky procesu výroby umělého kameniva může být vhodnější varianta s vyšším obsahem nedopalu v surovinové vsázce. Z tohoto důvodu byla v tomto případě ověřena surovinová směs s obsahem spalitelných látek při hodnotě 7,5%. V části vypálené vrstvy kameniva se výpalem a podmínkami vytvořil jeden větší spek s lehkou rozdužitelností. Vyšší obsah spalitelných látek nezpříčinil vyšší náchylnost ke spékání, bylo by tedy vhodné ověřit dále podmínky při vyšším obsahu, například 8,5-9,0%.



**FOTODOKUMENTACE**





## PROTOKOL VÝPALU KAMENIVA - AGLOPORIT VSB 2015-04

### OBJEDNATEL:

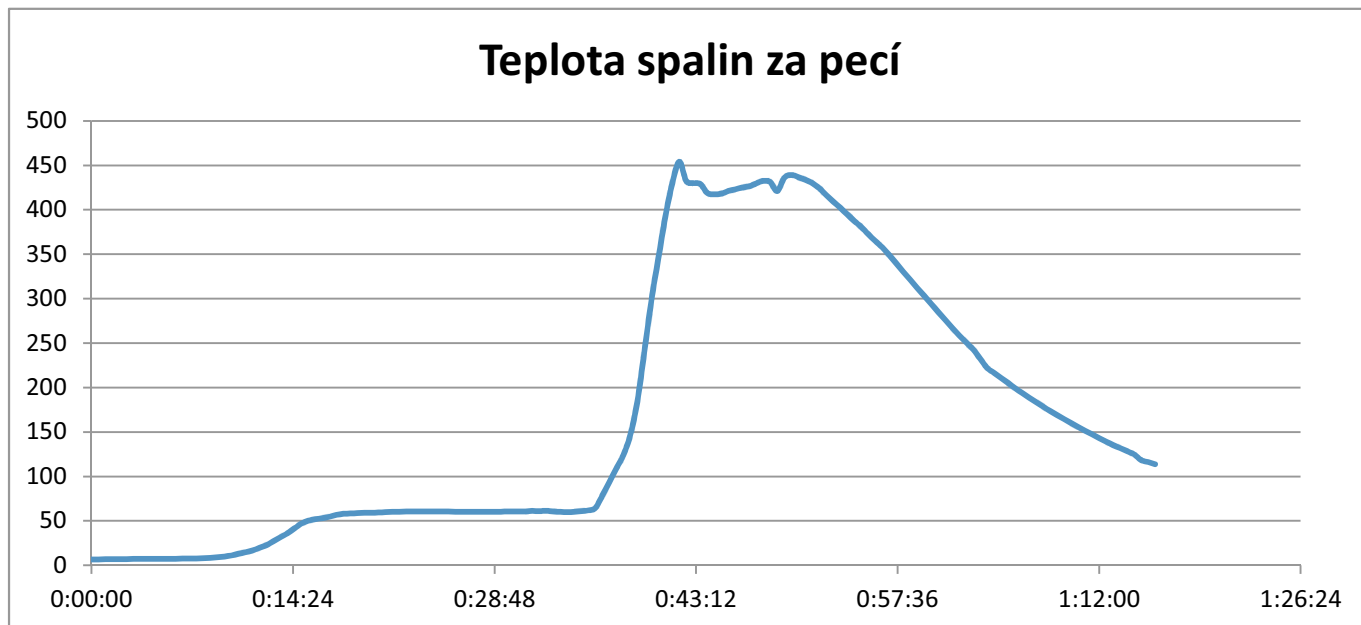
**VSB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební**  
**Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb**  
**Ostrava - Poruba 708 33, L. Poděšť 1875/17**  
**Ing. Filip Khestl, Ph.D.**  
**Email: [fillip.khestl@vsb.cz](mailto:fillip.khestl@vsb.cz)**

### ZHOTOVITEL:

**Svoboda a syn, s.r.o.**  
**Oddělení výzkumu a vývoje (Rybkova 17, Brno)**  
**Brno 620 00, Jahodová 524/62**  
**Ing. Michal Batelka, Ph.D.**  
**Email: [michal.batelka@sasbrno.cz](mailto:michal.batelka@sasbrno.cz)**

OZNAČENÍ VÝPALU:	151113_II_D+N_7,5%_80CM_500Pa
TEPLOTA OKOLÍ (°C):	7
VÝŠKA VSÁZKY/PODSYPU (cm):	80/30
OBSAH SPALITELNÝCH LÁTEK (%):	7,5
PODTLAK V PECI (Pa):	500
ZPŮSOB GRANULACE:	PELETIZAČNÍ TALÍŘ 1,2m
POUŽITÉ VYPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ:	PEC VERTIKAL V3.0
VÝPAL PROVEDL:	Kovács, Stránský
ZAPALOVACÍ MEDIUM/VÝHŘEVNOST	Propan / 46,4 MJkg <sup>-3</sup>
DOBA ZAPALOVÁNÍ (min)	16
POZNÁMKA:	

SLOŽENÍ SUROVINOVÉ SMĚSI:		Označení	Ztráta žiháním (%)	Množství (kg)
Surovina 1:	popílek Dětmárovice (dodalo VSB)	<i>D</i>	4,0	30,8
Surovina 2:	popílek - z biomasy (dodalo VSB)	<i>N</i>	9,7	49,2
Pojivo:	voda	<i>V</i>		8,0



Při výpalu kameniva ve vertikální peci V03 je měřena teplota ve spalínách, její průběh je patrný z grafu

## ZÁVĚR

Vypalovaná surovina se sestávala ze směsi dvou druhů popílků (D - popílek z elektrárny Dětmárovice), (N - popílek z biomasy, s vyšším podílem  $K_2O$ ) a záměsové vody. Granulace byla provedena na peletizačním talíři, tak aby výsledná vsázka měla kulovitý tvar v rozmezí granulometrie 4-16 mm. Tento výpal byl proveden s ohledem na dodané množství vsázky při množství 80 kg. Surovinové složení bylo zvoleno na základě výsledků a poznatků získaných při výpalech 151112 D+N 6,5%\_350Pa, 151113\_I\_D+N 7,5%\_20cm\_350Pa, 151112\_D+S+USSK\_6,5%\_350Pa. Obsah spálitelných látek byl zvolen při 7,5%. V části vypálené vrstvy kameniva se výpalem a podmínkami vytvořily větší spečence s lehkou rozdužitelností. Výpal i podmínky výpalu lze považovat za vhodné. Při výrobě tohoto druhu umělého kameniva (využití popílku z biomasy) se nepotvrdil předpoklad vyšší spékavosti vlivem obsahu  $K_2O$ .



**FOTODOKUMENTACE**



## PROTOKOL VÝPALU KAMENIVA - AGLOPORIT VSB 2015-02

### OBJEDNATEL:

**VSB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební**  
**Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb**  
**Ostrava - Poruba 708 33, L. Poděšť 1875/17**  
**Ing. Filip Khestl, Ph.D.**  
**Email: [fillip.khestl@vsb.cz](mailto:fillip.khestl@vsb.cz)**

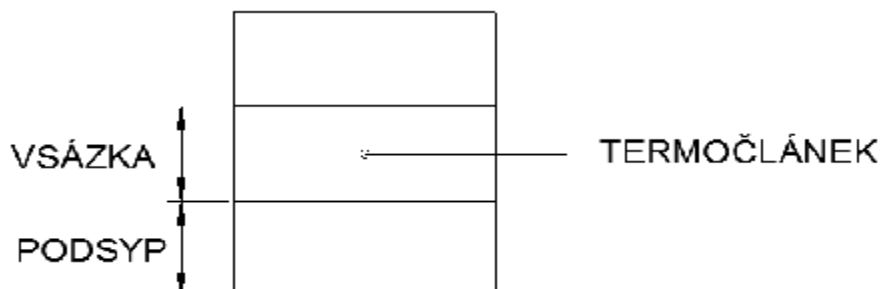
### ZHOTOVITEL:

**Svoboda a syn, s.r.o.**  
**Oddělení výzkumu a vývoje (Rybkova 17, Brno)**  
**Brno 620 00, Jahodová 524/62**  
**Ing. Michal Batelka, Ph.D.**  
**Email: [michal.batelka@sasbrno.cz](mailto:michal.batelka@sasbrno.cz)**

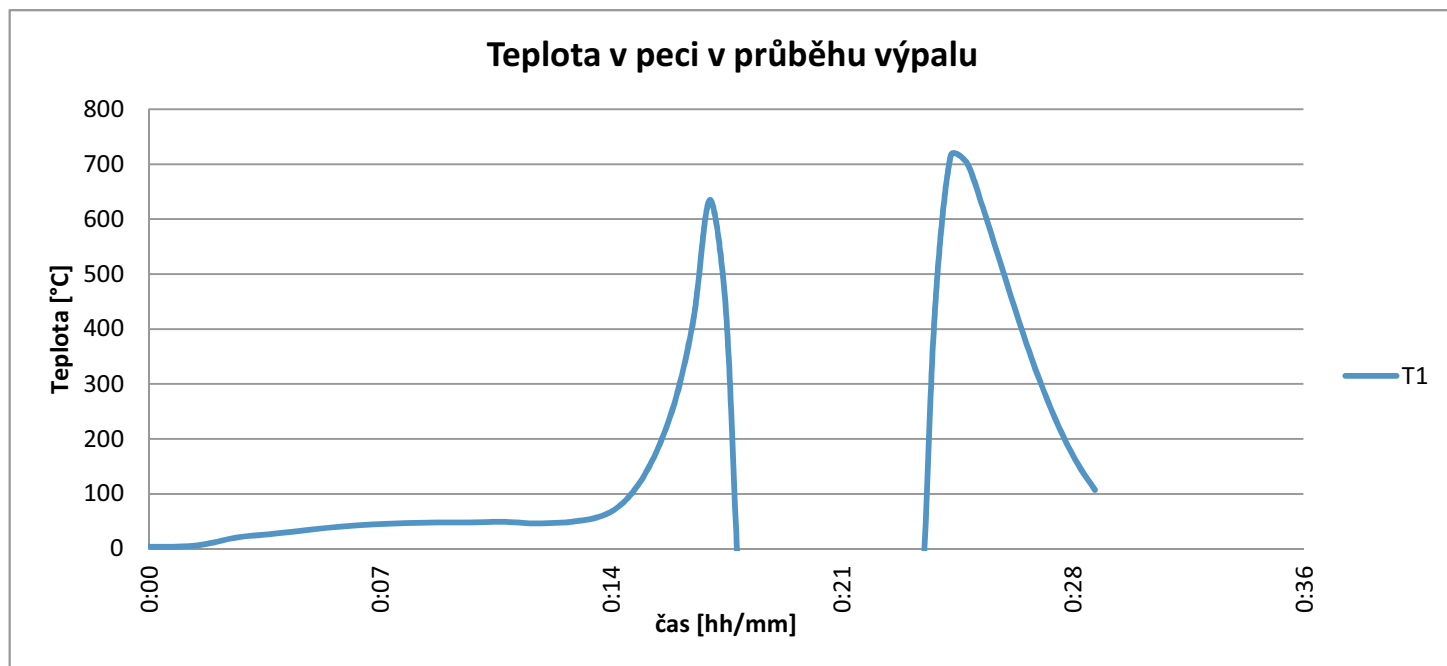
OZNAČENÍ VÝPALU:	151112_I_D+S+USSK P6_6,5%_20CM_350Pa
TEPLOTA OKOLÍ (°C):	6
VÝŠKA VSÁZKY/PODSYPU (cm):	20/20
OBSAH SPALITELNÝCH LÁTEK (%):	6,5
PODTLAK V PECI (Pa):	350
ZPŮSOB GRANULACE:	PELETIZAČNÍ TALÍŘ 1,2m
POUŽITÉ VYPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ:	PEC VERTIKAL V2.0
VÝPAL PROVEDL:	Kovács, Stránský
ZAPALOVACÍ MEDIUM/VÝHŘEVNOST	Zemní plyn / 33,5 MJkg <sup>-3</sup>
DOBA ZAPALOVÁNÍ (min)	10
POZNÁMKA:	

SLOŽENÍ SUROVINOVÉ SMĚSI:		Označení	Ztráta žiháním (%)	Množství (kg)
Surovina 1:	popílek Dětmorovice (dodalo VSB)	<b>D</b>	4,0	10,7
Surovina 2:	popílek - z biomasy (dodato VSB)	<b>S</b>	1,8	10,7
Surovina 3:	popílek US Steel Košice	<b>USSK P6</b>	27,5	3,6
Pojivo:	voda	<b>V</b>		2,0

### SCHÉMA VÝPALU:







Měření teploty uvnitř vsázky je neúplné, z důvodů poškození čidla při výpalu 01, teploty nad hodnotou cca 700 °C nejsou zobrazeny. Teplota ve vsázce při výpalu se vzhledem k nastaveným podmínkám může pohybovat v rozmezí 1100 - 1200°C.

## ZÁVĚR

Vypalovaná surovina se sestávala ze směsi tří druhů popílků (D - popílek z elektrárny Dětmarovice), (S - popílek z biomasy, s vyšším podílem K<sub>2</sub>O) a (USSK - popílek z elektrárny Košice) a záměsové vody. Popílek USSK byl do surovinové směsi přidán jako korigující přísada za účelem dosažení požadovaného množství spalitelných látek. Granulace byla provedena na peletizačním talíři, tak aby výsledná vsázka měla kulovitý tvar v rozmezí granulometrie 4-16 mm. Tento zkušební, resp. ověřovací výpal byl proveden s ohledem na dodané množství vsázky při množství 25 kg. Obsah spalitelných látek byl s ohledem na vlastnosti vstupních surovin zvolen při 6,5%. V části vypálené vrstvy kameniva se výpalem a podmínkami vytvořil větší spek s lehkou rozdužitelností. Při porovnání s výpalem 151112 D+N 6,5%\_350Pa bylo získáno menší množství vypáleného kameniva, vsázka při krajích špatně prohořovala. Podmínky hoření surovinové vsázky byly v tomto případě horší.

**FOTODOKUMENTACE**





## PROTOKOL O VLASTNOSTECH

### -SUROVINA-

OZNAČENÍ SUROVINY:	USSK P6
DATUM ODBĚRU:	07/2014
LOKALITA ODBĚRU/DODAVATEL:	US Steel Košice
POPIS:	klasický úletový popílek

	Spec.	Jedn.	
STANOVENÍ ZTRÁTY SUŠENÍM ČSN 72 0102		%	0,8
ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM/°C/VÝDRŽ(MIN): ČSN 72 0103	1100/60	%	27,5
SYPNÁ HMOTNOST	VOLNĚ SYPANÁ	kg/m <sup>3</sup>	630
	SETŘESENÁ	kg/m <sup>3</sup>	730

GRANULOMETRIE ČSN EN 933-1	Síto	Jedn.	Zbytek na sítě	Propad	ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM
	2	%	0,00	100,00	0,00
	1	%	0,00	100,00	0,00
	0,5	%	0,09	99,91	0,00
	0,2	%	2,52	97,39	42,55
	0,125	%	6,19	91,20	47,04
	0,09	%	10,17	81,03	42,81
	0,063	%	16,05	64,97	37,55
	0,04	%	26,69	38,28	27,93
	< 0,040	%	38,28	0,00	15,51
	celkem	%	100	100	

	Jedn.	
OBSAH NH <sub>3</sub>	%	-
OBSAH CaO	%	-



## PROTOKOL O VLASTNOSTECH

-SUROVINA-

OZNAČENÍ SUROVINY:	KN
DATUM ODBĚRU:	10/2015
LOKALITA ODBĚRU/DODAVATEL:	
POPIS:	popílek z biomasy

	Spec.	Jedn.	
STANOVENÍ ZTRÁTY SUŠENÍM ČSN 72 0102		%	0
ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM/°C/VÝDRŽ(MIN): ČSN 72 0103	1100/60	%	9,7
SYPNÁ HMOTNOST	VOLNĚ SYPANÁ	kg/m <sup>3</sup>	810
	SETŘESENÁ	kg/m <sup>3</sup>	910

GRANULOMETRIE ČSN EN 933-1	Síto	Jedn.	Zbytek na sítě	Propad	ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM
	2	%	0,00	100,00	
	1	%	0,00	100,00	
	0,5	%	25,49	74,51	
	0,2	%	60,04	14,48	
	0,125	%	10,18	4,30	
	0,09	%	2,38	1,91	
	0,063	%	1,12	0,79	
	0,04	%	0,65	0,14	
	< 0,040	%	0,14	0,00	
	celkem	%	100	100	

	Jedn.	
OBSAH NH <sub>3</sub>	%	-
OBSAH CaO	%	-



## PROTOKOL O VLASTNOSTECH

### -SUROVINA-

OZNAČENÍ SUROVINY:	D
DATUM ODBĚRU:	10/2015
LOKALITA ODBĚRU/DODAVATEL:	Elektrárna Dětmarovice
POPIS:	klasický úletový popílek

	Spec.	Jedn.	
STANOVENÍ ZTRÁTY SUŠENÍM ČSN 72 0102		%	0
ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM/°C/VÝDRŽ(MIN): ČSN 72 0103	1100/60	%	4
SYPNÁ HMOTNOST	VOLNĚ SYPANÁ	kg/m <sup>3</sup>	1090
	SETŘESENÁ	kg/m <sup>3</sup>	1200

GRANULOMETRIE ČSN EN 933-1	Síto	Jedn.	Zbytek na sítě	Propad	ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM
	2	%	0,00	100,00	
	1	%	0,00	100,00	
	0,5	%	0,00	100,00	
	0,2	%	36,06	63,94	
	0,125	%	43,00	20,94	
	0,09	%	14,08	6,86	
	0,063	%	5,06	1,80	
	0,04	%	1,47	0,32	
	< 0,040	%	0,32	0,00	
	celkem	%	100	100	

	Jedn.	
OBSAH NH <sub>3</sub>	%	-
OBSAH CaO	%	-



# **PROTOKOL O VLASTNOSTECH**

## **-SUROVINA-**

<b>OZNAČENÍ SUROVINY:</b>	KS
<b>DATUM ODBĚRU:</b>	10/2015
<b>LOKALITA ODBĚRU/DODAVATEL:</b>	
<b>POPIS:</b>	popílek z biomasy

	Spec.	Jedn.	
<b>STANOVENÍ ZTRÁTY SUŠENÍM</b> ČSN 72 0102		%	0
<b>ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM/°C/VÝDRŽ(MIN):</b> ČSN 72 0103	1100/60	%	1,8
<b>SYPNÁ HMOTNOST</b>	<b>VOLNĚ SYPANÁ</b>	kg/m <sup>3</sup>	1070
	<b>SETŘESENÁ</b>	kg/m <sup>3</sup>	1280

<b>GRANULOMETRIE</b> ČSN EN 933-1	Síto	Jedn.	Zbytek na síť	Propad	ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM
	2	%	0,00	100,00	
	1	%	0,00	100,00	
	0,5	%	0,04	99,96	
	0,2	%	2,42	97,54	
	0,125	%	23,43	74,12	
	0,09	%	29,53	44,59	
	0,063	%	19,20	25,38	
	0,04	%	14,86	10,52	
	< 0,040	%	10,52	0,00	
	celkem	%	100	100	

	Jedn.	
<b>OBSAH NH<sub>3</sub></b>	%	-
<b>OBSAH CaO</b>	%	-

Príloha č. 9 - Kompletný výstup zo všetkým analyzovanými prvkami a oxidmi

Index	9	10	11	12	13	14	15
Type	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining
Duration	180	180	180	180	180	180	180
Units	%	%	%	%	%	%	%
Sigma Value	2	2	2	2	2	2	2
Sequence	Final	Final	Final	Final	Final	Final	Final
SAMPLE	NAP-800	NAP-850	NAP-900	NAP-1000	POP-900	N-P-900	N-P-1000
Ba	0,056	0,06	0,054	0,055	0,099	0,084	0,087
Ba Error	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005
Bal	40,132	39,893	40,586	38,967	42,678	39,03	38,424
Bal Error	0,225	0,218	0,228	0,227	0,324	0,281	0,275
Zr	0,004	0,004	0,004	0,004	0,025	0,014	0,014
Zr Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Rb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,008	0,005	0,005
Rb Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bi	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,003	<LOD	<LOD
Bi Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Zn	0,01	0,008	0,008	0,008	0,032	0,015	0,015
Zn Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Cu	0,002	<LOD	<LOD	0,003	0,009	0,007	0,007
Cu Error	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Ni	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,01	0,005	0,007
Ni Error	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003
Fe	0,21	0,17	0,187	0,188	5,437	2,802	2,797
Fe Error	0,009	0,008	0,009	0,009	0,048	0,031	0,031
Mn	0,111	0,107	0,108	0,104	0,117	0,107	0,112
Mn Error	0,01	0,009	0,01	0,01	0,01	0,01	0,009
Cr	0,006	0,006	0,006	0,007	0,024	0,014	0,017
Cr Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
V	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,03	0,014	0,015
V Error	0,003	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003
Ti	0,015	0,014	0,014	0,014	0,637	0,313	0,303
Ti Error	0,003	0,003	0,003	0,003	0,01	0,007	0,007
Ca	3,768	3,705	3,61	3,743	3,122	3,527	3,642
Ca Error	0,062	0,059	0,06	0,06	0,057	0,061	0,061
K	15,686	15,653	15,345	15,492	2,681	9,537	9,533
K Error	0,095	0,092	0,094	0,094	0,036	0,069	0,067
Al	0,654	0,485	0,659	0,664	18,81	10,551	10,425
Al Error	0,185	0,184	0,185	0,192	0,35	0,297	0,29
P	1,245	1,274	1,268	1,316	<LOD	0,487	0,526
P Error	0,03	0,031	0,031	0,032	0,024	0,024	0,024
Si	36,946	37,737	37,16	38,47	25,43	32,526	33,257
Si Error	0,154	0,154	0,157	0,157	0,154	0,16	0,157
Cl	0,135	0,132	0,124	0,111	<LOD	0,018	0,009
Cl Error	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003
S	0,163	0,181	0,182	0,188	0,328	0,219	0,196
S Error	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008
Mg	0,854	<LOD	0,681	0,665	0,499	0,713	0,595
Mg Error	0,383	0,574	0,381	0,393	0,237	0,316	0,307
Al2O3	1,236	0,918	1,245	1,255	35,552	19,941	19,703
Al2O3 Error	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	79,064	80,757	79,523	82,325	54,421	69,605	71,17
SiO2 Error	0	0	0	0	0	0	0
MgO	1,417	0,932	1,13	1,103	0,829	1,184	0,988
MgO Error	0	0	0	0	0	0	0
CaO	5,275	5,187	5,054	5,24	4,37	4,938	5,099
CaO Error	0	0	0	0	0	0	0
SO3	0,408	0,453	0,456	0,471	0,82	0,547	0,49
SO3 Error	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,3	0,243	0,267	0,268	7,775	4,006	4
Fe2O3 Error	0	0	0	0	0	0	0
K2O	18,98	18,94	18,568	18,745	3,244	11,539	11,535
K2O Error	0	0	0	0	0	0	0



Príloha č. 9 - Kompletný výstup zo všetkým analyzovanými prvkami a oxidmi

Index	16	17	18	19	20	21	22
Type	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining
Duration	180	180	180	180	180	180	180
Units	%	%	%	%	%	%	%
Sigma Value	2	2	2	2	2	2	2
Sequence	Final	Final	Final	Final	Final	Final	Final
SAMPLE	D,N_6.5_4,8	D,N_7.5_8,16	D,S_USSKP6-6.5	AGLOPORIT_8.16	NAP_v_POP_1000	NAPKS	NAPKN
Ba	0,049	0,048	0,075	0,057	0,077	0,062	0,02
Ba Error	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Bal	40,471	39,738	38,304	37,179	37,117	41,052	41,658
Bal Error	0,253	0,252	0,289	0,345	0,291	0,217	0,219
Zr	0,012	0,012	0,02	0,029	0,014	0,004	0,005
Zr Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Rb	0,005	0,005	0,005	0,008	0,005	0,003	0,003
Rb Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bi	<LOD	<LOD	0,002	0,003	0,002	<LOD	<LOD
Bi Error	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Zn	0,018	0,017	0,016	0,022	0,014	0,005	0,015
Zn Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
Cu	0,007	0,006	0,007	0,009	0,006	<LOD	0,003
Cu Error	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
Ni	<LOD	<LOD	<LOD	0,006	<LOD	<LOD	<LOD
Ni Error	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005
Fe	2,278	2,244	3,237	5,578	2,755	0,405	0,544
Fe Error	0,027	0,027	0,035	0,047	0,031	0,012	0,013
Mn	0,085	0,085	0,11	0,074	0,102	0,091	0,057
Mn Error	0,009	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,008
Cr	0,014	0,013	0,017	0,027	0,016	0,009	0,01
Cr Error	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
V	0,01	0,012	0,015	0,037	0,014	<LOD	<LOD
V Error	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002
Ti	0,226	0,224	0,314	0,829	0,321	0,012	0,017
Ti Error	0,006	0,006	0,007	0,011	0,007	0,003	0,003
Ca	4,187	4,102	4,358	1,753	3,565	3,505	5,614
Ca Error	0,063	0,063	0,067	0,045	0,061	0,057	0,067
K	9,058	9,201	8,385	2,104	9,601	15,15	12,049
K Error	0,065	0,066	0,065	0,032	0,069	0,089	0,076
Al	6,908	7,051	10,577	22,093	11,643	0,529	0,574
Al Error	0,252	0,254	0,299	0,371	0,314	0,178	0,185
P	<LOD	<LOD	0,417	<LOD	0,512	1,077	0,089
P Error	0,033	0,033	0,023	0,024	0,024	0,03	0,025
Si	35,377	35,91	33,084	29,473	33,368	37,066	36,891
Si Error	0,162	0,162	0,163	0,164	0,162	0,154	0,156
Cl	0,211	0,232	0,013	<LOD	0,015	0,1	0,886
Cl Error	0,005	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,009
S	0,368	0,385	0,137	0,088	0,169	0,132	0,726
S Error	0,01	0,01	0,007	0,006	0,008	0,008	0,013
Mg	0,709	0,709	0,898	0,587	0,67	0,793	0,84
Mg Error	0,318	0,319	0,317	0,217	0,318	0,371	0,384
Al2O3	13,055	13,326	19,99	41,755	22,005	1	1,085
Al2O3 Error	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	75,707	76,847	70,801	63,073	71,407	79,32	78,946
SiO2 Error	0	0	0	0	0	0	0
MgO	1,177	1,176	1,491	0,975	1,112	1,317	1,394
MgO Error	0	0	0	0	0	0	0
CaO	5,861	5,743	6,102	2,455	4,991	4,907	7,859
CaO Error	0	0	0	0	0	0	0
SO3	0,919	0,962	0,343	0,219	0,424	0,329	1,815
SO3 Error	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	3,257	3,209	4,629	7,976	3,94	0,579	0,777
Fe2O3 Error	0	0	0	0	0	0	0
K2O	10,96	11,133	10,146	2,546	11,617	18,331	14,579
K2O Error	0	0	0	0	0	0	0